J. TYNDALL

LES GLACIERS





J. TYNDALL

LES
GLACIERS













# BIBLIOTHÈQUE

## SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

## AUTRES OUVRAGES DE M. TYNDALL

TRADUITS EN FRANÇAIS

---

**La chaleur considérée comme un mode de mouvement**, cours en douze leçons professées à l'Institution Royale de la Grande-Bretagne, traduit de l'anglais, 1 vol. in-8°.

**Le Son**, 1 vol. in-8°.

**Faraday inventeur**, traduit de l'anglais, 1 vol. in-18 jésus.

**Chaleur et Froid**, six leçons faites à un jeune auditoire, traduit de l'anglais, 1 vol. in-18. 2 fr.

**La matière et la force**, 1867, traduit de l'anglais, in-18. 1 50

## ARTICLES PUBLIÉS DANS LA REVUE SCIENTIFIQUE

CHAQUE NUMÉRO SE VEND SÉPARÉMENT.

Vibration des cordes ; tome IV, page 50. — Flammes sonores et sensibles, tome IV, page 200. — Influence du magnétisme et du son sur la lumière, et du son sur les veines liquides, tome V, page 46. — Chaleur rayonnante, tome III, page 226. — Couleur bleue du ciel, polarisation de l'atmosphère, direction des vibrations de la lumière polarisée, t. VI, page 284. — Les rayons chimiques et la lumière du ciel, tome VI, page 242. — Cause de la couleur de l'eau de mer, tome VIII, p. 66. — La poussière et la fumée, tome VIII, page 376. — Rôle de l'imagination dans les sciences, tome VIII, page 13. — Les forces physiques et la pensée, tome VI, page 11. — Formation des nuages et phénomènes qui s'y rattachent, tome VI, page 286. — Poussières et maladies, tome VII, page 235. — Les germes atmosphériques et l'action de l'air sur les plaies, tome VII, page 415. — Particules en suspension dans les eaux potables, tome VIII, page 69.

---

Coulommiers. — Typog. A. MOUSSIN


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
LYON
1892

PLANCHE I.

Frontispice.



Panache de nuages de l'aiguille du Dru (par. 32 et 88).

# LES GLACIERS

ET



# LES TRANSFORMATIONS DE L'EAU

PAR

J. TYNDALL

De la Société Royale de Londres
Professeur à l'Institution Royale de la Grande-Bretagne.

SUIVIS D'UNE CONFÉRENCE SUR LE MÊME SUJET

PAR M. HELMHOLTZ

AVEC LA RÉPONSE DE M. TYNDALL

OUVRAGE ILLUSTRÉ DE NOMBREUSES FIGURES DANS LE TEXTE, ET DE HUIT PLANCHES TIRÉES A PART SUR PAPIER TEINTÉ.






PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE

17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1873

# PRÉFACE




Après douze ans d'absence, j'ai visité la mer de Glace au mois de juin dernier. Elle m'a présenté d'une manière frappante cet excès de la consommation sur la production qui, s'il continue, finira par réduire les glaciers de la Suisse à n'être plus que l'ombre de ce qu'ils étaient autrefois. Lors de ma première visite à la mer de Glace, ses énormes glaçons s'élevaient au-dessus des Mottets, et un bras de l'Arveiron, jaillissant des hauteurs, tombait en cascade au pied des rochers. La glace s'arrête maintenant bien en deçà. Une énorme moraine, que le glacier a laissée derrière lui en se retirant, marquera encore pendant quelque temps sa grandeur passée. La voûte de l'Arveiron a considérablement diminué. Le chemin par lequel on monte au Chapeau suit une moraine latérale, à laquelle on arrivait, il y a quelques années, par la surface du glacier : maintenant, cette surface se trouve bien plus bas. L'éparpillement visible et continuel des mo-

raines échouées, pour ainsi dire, sur le flanc de la montagne, explique l'absence de toute crête ancienne sur les montagnes à pentes rapides. La cascade de glace du Géant a beaucoup souffert de l'amoindrissement général du glacier. Ses crevasses ont encore un aspect sauvage; mais les falaises de glace et les séracs d'autrefois ne sont plus représentés que d'une façon médiocre.

Le grand Aletsch et ses voisins offrent les mêmes symptômes de diminution. En outre, j'ai reconnu cette année que les deux anciennes moraines, dont j'ai parlé page 142, font partie de la même grande moraine latérale qui a bordé le glacier pendant une longue période, dans laquelle son étendue a dû rester sensiblement constante. Cette limite si bien conservée marque, d'une manière frappante, la place qu'occupait autrefois la rivière de glace.

Pendant le séjour que j'ai fait cette année au Bel Alp, une catastrophe est arrivée qui rend inexacte, momentanément du moins, la description que j'ai donnée, page 133, de la Märgelin See. Accompagné de deux jeunes amis, j'avais descendu le glacier et traversé la gorge de la Massa. A notre retour au Bel Alp, nous trouvâmes tout le personnel de l'hôtel aux fenêtres; tous regardaient avec anxiété du côté du glacier. On entendait un bruit semblable au mugissement d'une cataracte. Les domestiques disaient que, sans doute, la Märgelin See avait rompu ses digues. Le fait était vrai. Pendant quelque temps, l'eau coula sous le glacier; mais, parvenue à peu près à moitié

chemin entre le Bel Alp et l'Æggischhorn, elle se fraya un passage du côté de ce dernier, et forma un torrent entre le glacier et le flanc de la montagne. En certains endroits, cette rivière avait près de soixante mètres de large; en d'autres, elle était de moins de douze mètres. De temps en temps, les glaces étagées en gradins formaient des séries de cascades d'une hauteur considérable : le torrent se précipitait d'étage en étage avec une fureur indescriptible, et lançait dans les airs un nuage d'écume. Sur un point, le fond du torrent était formé d'une couche épaisse de sable mou; et, après le passage des eaux, on voyait d'énormes entonnoirs qu'elles y avaient creusés dans leurs mouvements tumultueux.

Peu de temps après notre retour au Bel Alp, les premières eaux du torrent se montrèrent du côté opposé de la vallée, entraînant tout sur leur passage; quelques minutes plus tard, elles s'élançaient dans le vallon que nous avions traversé le matin. Lorsque nous étions à l'extrémité du glacier, j'avais été frappé de la force et du volume des eaux de la Massa, et de la grandeur de sa voûte; mais je n'avais pu m'expliquer alors la présence des énormes blocs de glace qu'elle charriait continuellement. Une rupture partielle avait sans doute précédé le grand mouvement des eaux supérieures. Le Rhône était considérablement grossi; les récoltes étaient endommagées ou perdues, et le conducteur de la diligence ne comprenait rien aux trois pieds d'eau qui couvraient la grande route, sans aucune raison apparente. Deux ou

trois jours après, on me dit, à l'Æggischhorn, qu'un ingénieur avait été envoyé pour examiner s'il ne serait pas possible d'ouvrir un passage, de manière à empêcher les eaux de s'accumuler à l'avenir dans la Märgelin See. Si ce projet réussit, on aura fait un travail utile, mais, en même temps, on aura détruit un des sites les plus pittoresques de la Suisse.

J. Tyndall.



# LES GLACIERS

ET

# LES TRANSFORMATIONS DE L'EAU

---

## LIVRE I

### LES TRANSFORMATIONS DE L'EAU




## CHAPITRE PREMIER

### NUAGES, PLUIE ET COURS D'EAU.

Tout phénomène de la nature est précédé de certains phénomènes qui en sont les causes, et suivi d'autres phénomènes qui en sont les effets. L'esprit humain ne se contente jamais d'observer et d'étudier un phénomène isolé, mais il se plaît à rattacher tous les faits naturels à ceux qui les ont précédés et à ceux qui doivent les suivre.

Ainsi, quand nous commençons l'étude des fleuves et des glaciers, l'intérêt de cette étude se trouvera grandement augmenté si nous envisageons non-seulement leurs apparences actuelles, mais encore leurs causes et leurs effets.

Remontons jusqu'à la source d'un fleuve. Si nous le prenons à son embouchure pour le suivre en remontant, nous voyons qu'il reçoit de temps en temps des affluents qui grossissent le volume de ses eaux. Naturellement, le fleuve lui-même diminue à mesure que nous dépassons ces affluents. Devenu d'abord ruisseau, ce n'est bientôt plus qu'un ruisselet, qui se subdivise lui-même en plusieurs cours d'eau encore plus petits, lesquels finissent par n'être plus que de véritables filets d'eau. C'est là la source du fleuve, source qui sort le plus souvent de quelque colline.

Ainsi la Severn prend sa source dans les montagnes du pays de Galles; la Tamise, dans les monts Cotswold; le Danube, dans les collines de la forêt Noire; le Rhin et le Rhône, dans les Alpes; le Gange, dans les monts Himalaya; l'Euphrate, près du mont Ararat; la Garonne, dans les Pyrénées; l'Elbe, aux monts Géants de la Bohême; le Missouri, dans les monts Rocheux; et l'Amazone, dans les Andes du Pérou.

Mais il est bien évident que nous ne sommes pas encore arrivés à la source véritable des fleuves. D'où les filets primitifs reçoivent-ils leurs eaux? Il suffit de vivre un peu dans les montagnes, pour voir que ces filets sont alimentés par les pluies. Par les temps de sécheresse, ces petits ruisseaux diminuent, et quelquefois même tarissent entièrement. Par les temps de pluie, ils se transforment en torrents écumeux. En général, les petits cours d'eau se perdent sous forme de petits filets d'eau sur le flanc des collines; mais quelquefois on peut trouver une source bien caractérisée. L'Albula, en Suisse, par exemple, présente, dès son origine, une masse d'eau considérable, qui jaillit du flanc d'une montagne. Mais on reconnaît bientôt

que ces sources aussi sont alimentées par les pluies qui, filtrant à travers les rochers ou le sol, s'élancent au jour par quelque orifice qu'elles trouvent ou qu'elles se font à elles-mêmes.

Mais nous ne pouvons nous arrêter là. D'où vient la pluie qui forme les ruisseaux des montagnes? L'observation nous permet de répondre à cette question. La pluie ne vient pas d'un ciel serein; elle vient des nuages. Mais qu'est-ce que les nuages? Dans ce que nous connaissons, n'y a-t-il rien qui leur ressemble? Nous pouvons, sans hésiter, les comparer à la vapeur condensée d'une locomotive. Chaque fois que la machine respire, elle lance au dehors un véritable nuage. Regardez attentivement, et vous verrez que ce nuage prend naissance à une petite distance de la cheminée. Regardez mieux encore, et vous verrez quelquefois un espace tout à fait clair entre la cheminée et le nuage. Cet espace clair doit être traversé par ce qui produit le nuage. Quelle est donc cette substance qui, à un moment, est transparente et invisible, et, le moment d'après, visible sous forme de nuage opaque?

C'est la vapeur qui vient de l'eau de la chaudière.

Dans la chaudière, cette vapeur est transparente et invisible; mais pour la conserver ainsi invisible, il faudrait une chaleur égale à celle qui existe à l'intérieur de la chaudière. Quand la vapeur se mêle à l'air froid qu'elle rencontre au-dessus de la cheminée, elle cesse d'être à l'état de vapeur. Chaque molécule de vapeur se condense, par le refroidissement, en une molécule d'eau bien plus petite. Les molécules liquides ainsi produites forment une sorte de *poussière d'eau* d'une ténuité extrême, qui flotte dans l'air, et prend le nom de *nuage*.

Suivez des yeux le panache qui s'échappe de la chemi-

née d'une locomotive en mouvement; vous le verrez devenir de moins en moins dense. Il finit par s'évanouir d'une manière complète; et, si vous répétez ces observations, vous ne manquerez pas de reconnaître que la rapidité de sa disparition dépend de l'état de l'atmosphère. Par un temps humide, le nuage reste longtemps visible; par un tempc sec, il est rapidement absorbé. Qu'est-il devenu? Il s'est de nouveau transformé en véritable vapeur, en vapeur invisible.

Plus l'air est sec et chaud, plus il peut ainsi dissoudre de nuage. Au moment où le nuage se forme, il est bien trop abondant pour que l'air puisse le maintenir à l'état invisible. Mais à mesure que le nuage se mêle à une masse d'air plus considérable, il se dissout de plus en plus, et finit par passer tout entier de l'état de liquide extrêmement divisé à celui de vapeur transparente, ou de gaz.

Fermez hermétiquement le couvercle d'une bouilloire, et laissez échapper la vapeur par le bec : il se formera un nuage tout à fait semblable à celui qui sort de la cheminée de la locomotive.

Faites passer cette vapeur par la flamme d'une lampe à alcool, à mesure qu'elle sort de la bouilloire; le nuage se dissout immédiatement dans l'air chaud, et ne se condense plus. Avec une bouilloire et un bec faits exprès, on peut rendre cette expérience plus frappante, mais non plus instructive qu'avec une bouilloire ordinaire.

Regardez les fenêtres de votre chambre, quand la température extérieure est très-basse; elles ruissellent quelquefois de l'eau qui provient de la condensation de la vapeur aqueuse des poumons. Les carreaux de nos wagons de chemin de fer en hiver, montrent cette condensation d'une manière frappante. Versez de l'eau froide dans un

verre sec, un jour d'été; la surface extérieure du verre est immédiatement ternie par l'humidité qui s'y condense. Par un temps chaud, vous ne voyez pas de vapeur s'échapper de vos lèvres; mais s'il fait froid, il en sort un petit nuage qui est dû à la condensation de la vapeur d'eau fournie par les poumons.

Dans une salle de bal, tant que la porte et les fenêtres restent fermées, et que la chambre est chaude, l'air reste transparent; mais dès que l'on ouvre les portes ou les fenêtres, on voit l'air s'obscurcir un peu, par le brouillard que produit la condensation de la vapeur d'eau de la salle de bal. Si le froid extérieur est intense, l'entrée de l'air du dehors peut même déterminer la production de neige. On a observé ce phénomène dans des salles de bal en Russie, ainsi que dans les écuries souterraines d'Erzeroum, quand l'ouverture des portes permettait à l'air froid du matin de pénétrer à l'intérieur.

Même par le temps le plus sec, notre atmosphère contient toujours un peu de vapeur. On peut toujours transformer en gelée blanche la vapeur qui se trouve dans l'air d'une chambre; il suffit pour cela de remplir un vase d'un mélange de glace pilée et de sel; ce mélange, qui est plus froid que la glace, condense la vapeur d'eau et la fait se congeler. La surface du vase finit par se revêtir d'une couche neigeuse assez épaisse pour qu'on puisse l'enlever et en former une boule.

Pour produire le nuage qui s'échappe d'une locomotive ou d'une bouilloire, il faut de la *chaleur*. En chauffant l'eau, nous la transformons d'abord en vapeur, puis le refroidissement de cette vapeur en fait un nuage. Existe-t-il dans la nature un feu qui puisse produire les nuages de notre atmosphère? Oui, assurément, et ce feu c'est le soleil.

Ainsi, lorsque nous remontons un fleuve depuis son embouchure jusqu'à son origine véritable, une chaîne non interrompue de phénomènes nous conduit jusqu'au soleil.

Cependant il existe des fleuves dont les sources diffèrent, à certains égards, de celles dont nous venons de parler. Ils ne viennent pas de filets d'eau sortant des flancs d'une colline; on ne peut, non plus, les remonter jusqu'à une source. Partez, par exemple, de l'embouchure du Rhône, et suivez ce fleuve jusqu'à Lyon, qui est le point où il s'infléchit vers l'est. Vous passez alors par Chambéry, pour arriver enfin au lac de Genève, d'où le fleuve sort; vous pourriez donc être disposé à regarder ce lac comme la source du Rhône. Mais ne vous arrêtez point; poussez jusqu'à l'autre extrémité du lac, et vous y retrouverez le Rhône à son entrée, de sorte que le lac n'est, en réalité, qu'une expansion du fleuve. Remontez celui-ci; vous verrez qu'il reçoit des cours d'eau moins importants sortis des montagnes qui sont à sa droite et à sa gauche. Montez toujours, et vous finissez par arriver à une énorme masse de glace — c'est l'extrémité d'un glacier — qui remplit la vallée du Rhône; et c'est du pied de ce glacier que sort le fleuve. Ainsi c'est le glacier du Rhône qui donne naissance au fleuve.

Mais, ici encore, nous ne sommes pas arrivés à l'origine véritable du fleuve. On reconnaît bientôt que ces premières eaux du Rhône proviennent de la fonte de la glace. On monte sur le glacier et on se dirige vers sa partie supérieure. Au bout d'un certain temps, la glace disparaît, et se trouve remplacée par de la neige. Un homme habitué aux montagnes peut monter jusqu'au sommet de cette grande plaine de neige; et, s'il franchit ce sommet, et qu'il descende de l'autre côté, il verra encore disparaître la

neige, et arrivera à un autre glacier, nommé le Trift, du bas duquel sort un fleuve plus petit que le Rhône.

On apprend bientôt que la neige des montagnes alimente le glacier : de manière ou d'autre, la neige se transforme en glace. Mais d'où vient la neige ? Comme la pluie, elle vient des nuages, et ceux-ci, nous l'avons déjà vu, proviennent des vapeurs que pompe le soleil. Sans le feu du soleil, nous ne pourrions avoir de vapeur d'eau dans l'atmosphère; sans vapeur, pas de nuages; sans nuages, pas de neige, et sans neige, pas de glaciers. Ainsi, chose curieuse à dire, la glace des Alpes tire son origine de la chaleur du soleil.

# CHAPITRE II

ONDES LUMINEUSES ET ONDES CALORIFIQUES. — VAPEUR D'EAU DANS L'ATMOSPHÈRE. — FUSION DES GLACIERS.

*Ondes lumineuses.* — Mais qu'est-ce que le soleil? Nous en connaissons les dimensions, nous savons combien il pèse. Nous savons encore que c'est un globe de feu bien plus chaud que tous les feux que nous avons sur la terre. Mais ici se présente un autre sujet de recherches. Il nous reste à apprendre exactement le sens des mots *lumière* et *chaleur du soleil;* comment cette lumière et cette chaleur affectent nos sens; par quels moyens elles arrivent du soleil à la terre, et comment enfin, une fois sur la terre, elles produisent les nuages de notre atmosphère, et donnent ainsi naissance à nos fleuves et à nos glaciers.

Quand on est dans l'obscurité, si on ferme les yeux, et que l'on appuie le bout de l'ongle sur la paupière, on verra un cercle lumineux en face du point que l'on a pressé; de même, un coup violent sur l'œil produit la sensation d'un éclair. Il existe un nerf destiné spécialement à la vision, lequel va du cerveau à la partie postérieure de l'œil, et là se divise en filaments très-fins, qui s'entrelacent de manière à former une sorte d'écran

appelé *rétine*. La rétine peut être excitée de différentes manières, qui toutes produisent la sensation de la lumière; elle peut, comme nous l'avons dit, être excitée par l'action mécanique et violente d'un coup donné sur l'œil.

Dans l'état de santé, l'œil ne saurait créer spontanément de lumière. Pour produire la vision, il faut que la rétine soit frappée par quelque chose venant du dehors. Quelle est cette chose? De façon ou d'autre, les corps lumineux peuvent agir sur la rétine — mais *comment le font-ils?*

On a longtemps supposé que ces corps émettaient, avec une rapidité inconcevable, une matière d'une ténuité également inconcevable, qui volait à travers l'espace, passait par les pores que l'on supposait exister dans les humeurs de l'œil, frappait la rétine au fond de l'œil, et, par ce choc, éveillait la sensation de la lumière.

Cette théorie, soutenue par les plus grands physiciens, et, entre autres, par Newton, permit d'expliquer un grand nombre des phénomènes de la lumière, mais elle ne put suffire à expliquer *tous* les phénomènes. A mesure que s'accroissaient l'habileté et les connaissances des expérimentateurs, des faits nombreux se révélaient que l'on ne peut expliquer qu'en admettant que la lumière est produite, non par des particules matérielles très-ténues, qui traversent l'espace et viennent frapper la rétine, mais par le choc de petites ondes sur la rétine.

Trempez le doigt dans une cuvette d'eau, et faites-le vibrer rapidement. Du centre de mouvement partent de petites ondulations qui sont propagées par l'eau, et qui finissent par venir frapper les bords de la cuvette. Ainsi le doigt qui vibre est une source de mouvement; l'eau est le milieu dans lequel ce mouvement se propage; et

enfin les bords de la cuvette reçoivent le choc des petites ondulations.

De même, selon la théorie des *ondes lumineuses*, la source de mouvement se trouve dans la vibration des atomes ou particules très-petites du corps lumineux; le milieu par lequel se transmet ce mouvement, est une substance que l'on suppose exister partout dans l'espace, ainsi que dans les humeurs de l'œil; et enfin la rétine reçoit les chocs successifs des ondes. C'est à ces chocs que l'on attribue la sensation de la lumière.

Ici, nous nous trouvons presqu'uniquement en présence d'hypothèses. Nous n'avons jamais vu les atomes d'un corps lumieux, ni les mouvements de ces atomes. Nous n'avons jamais vu le milieu qui transmet ces mouvements, ni les ondulations de ce milieu. Comment donc sommes-nous arrivés à en admettre l'existence?

Avant qu'une pareille conception pût véritablement prendre racine dans l'esprit humain, il était nécessaire que cet esprit fût instruit et préparé par l'observation et le calcul de mouvements ondulatoires ordinaires. Il fallait connaître le mode de formation et de propagation des ondes liquides et des ondes sonores. Surtout, il était indispensable de connaître l'action mutuelle des ondes qui traversent le même milieu. Avec ces connaissances, l'esprit était en état de saisir les points de ressemblance qui pouvaient se présenter entre l'action de la lumière et celle des ondes.

On remarqua donc un grand nombre de phénomènes optiques qui s'expliquaient de la manière la plus complète et la plus satisfaisante par le système des ondulations, et qu'aucun autre système ne pouvait expliquer. C'est parce qu'elle suffit à expliquer tous les phénomènes

de la lumière que la théorie des ondes est maintenant admise par tous les savants.

Qu'il me soit permis de faire ici une comparaison. Nous admettons que les silex taillés, que l'on a récemment trouvés en si grand nombre en Angleterre et dans d'autres pays, ont été taillés par des hommes; nous admettons également que les pyramides d'Égypte ont été construites par des hommes, parce que l'expérience nous apprend que des hommes seuls ont pu travailler ces silex ou construire de telles pyramides. De même, les phénomènes de la lumière nous font admettre l'existence des ondes lumineuses, parce que, autant que nous pouvons le savoir, aucune autre cause n'aurait pu produire ces phénomènes.

*Des ondes calorifiques qui produisent la vapeur d'eau de notre atmosphère et qui fondent nos glaciers.* — Voilà donc, d'une manière générale et avec les motifs sur lesquels elle se fonde, la conception d'après laquelle la lumière est regardée comme résultant d'un mouvement ondulatoire; mais il faut aller plus loin, et suivre cette conception dans quelques-uns de ses détails. Nous avons tous vu les ondes liquides, et nous savons qu'elles n'ont pas les mêmes dimensions : elles diffèrent à la fois en longueur et en hauteur. Si donc l'on nous dit que les atomes du soleil, et ceux de presque tous les autres corps lumineux, vibrent avec des vitesses différentes, et produisent des ondes de grandeurs différentes, notre expérience des ondes liquides nous permettra de nous former une idée assez nette du sens qu'il faut attacher à ces mots.

Comme nous l'avons déjà dit, nous n'avons jamais vu les ondes lumineuses, mais nous jugeons de leur exis-

tence, de leur position et de leur grandeur d'après leurs effets. C'est ainsi qu'on a pu en déterminer la longueur : elle peut varier de $\frac{1}{30,000}$ à $\frac{1}{60,000}$ de pouce (de 8466 à 4233 dix millioniêmes de millimètre).

Mais outre ces ondes qui produisent la lumière, le soleil fournit sans cesse une multitude d'ondes qui ne donnent pas de lumière. Les ondes les plus grandes auxquelles le soleil donne naissance, sont des ondes obscures, bien qu'elles possèdent la puissance calorifique la plus grande.

Un rayon de soleil ordinaire contient des ondes de toute espèce; mais l'on peut tamiser ce rayon de manière à en intercepter toute la lumière, et à laisser passer sans obstacle toute la chaleur obscure. En effet, nous connaissons des substances qui, pour ainsi dire, complètement opaques pour les ondes lumineuses, sont d'une transparence presque parfaite pour les autres. D'un autre côté l'on peut, à l'aide de substances convenablement choisies, intercepter presque entièrement les ondes purement calorifiques, et laisser passer librement les ondes purement lumineuses. Néanmoins, cette dernière séparation n'est pas aussi complète que la première.

Nous apprendrons tout à l'heure à détacher les ondes d'une espèce de celles de l'autre, et à démontrer que des ondes capables d'enflammer des corps, de fondre des métaux ou de produire des brûlures comme le ferait un solide à une température élevée, peuvent exister dans un endroit parfaitement obscur.

Supposons donc que nous interceptions d'abord les grandes ondes calorifiques, pour ne laisser passer que les ondes lumineuses. Ces dernières peuvent être con-

centrées à l'aide de lentilles convenables, et projetées sur une masse d'eau sans l'échauffer d'une manière appréciable. Interceptons maintenant les ondes lumineuses, et concentrons de même les grandes ondes calorifiques; elles pourront faire bouillir l'eau presque instantanément.

C'est là le point où je voulais vous amener, et que je n'aurais pu vous faire comprendre sans cette explication préliminaire. Vous voyez maintenant le rôle important que jouent dans le travail de l'évaporation ces grandes ondes obscures. Lorsqu'elles pénètrent dans les mers, les lacs et les rivières, elles sont arrêtées dans le voisinage de la surface des eaux, et en élèvent la température de manière à en déterminer l'évaporation; en même temps, les ondes lumineuses pénètrent à de grandes profondeurs sans échauffer sensiblement les couches d'eau qu'elles traversent. Ainsi l'évaporation est produite non-seulement par le feu du soleil, mais même par un élément particulier de ce feu, dont vous ne soupçonniez probablement pas même l'existence.

Mais allons plus loin. Ce sont ces mêmes ondes obscures qui, en tombant sur les glaciers des Alpes, fondent la glace et produisent tous les cours d'eau qui sortent des glaciers; car je vous démontrerai tout à l'heure que les ondes lumineuses, même au plus haut degré de concentration, ne sauraient fondre la gelée blanche la plus légère; à plus forte raison ne peuvent-elles pas déterminer les liquéfactions abondantes que nous observons sur les glaciers.

Ces grandes ondes obscures du soleil, aussi bien que les ondes calorifiques que produisent les corps chauds non lumineux, sont souvent désignées sous le nom de chaleur obscure ou invisible.

Voilà bien un exemple de la liaison intime qui existe, dans le merveilleux système auquel nous donnons le nom de nature, entre des phénomènes en apparence étrangers l'un à l'autre. Il est impossible d'étudier à fond un flocon de neige, sans être ramené pas à pas jusqu'à la constitution du soleil. Et il en est ainsi dans la nature entière : toutes ses parties sont dans un état de dépendance mutuelle, et l'étude *complète* de l'une quelconque d'entre elles entraînerait en réalité celle de toutes les autres.

La chaleur qui provient d'une source qui n'est pas portée au rouge, ne peut être concentrée de manière à produire les effets intenses dont nous venons de parler. Pour les obtenir, il faut employer la chaleur obscure d'un corps porté à l'état d'incandescence le plus élevé possible. Le soleil est dans cet état, et, par conséquent, sa chaleur obscure convient pour les expériences de ce genre.

Mais dans l'atmosphère de Londres, et pour des expériences comme celles que nous avons en vue, les ondes calorifiques que donne le coke porté au rouge-blanc intense par un courant électrique, sont bien plus commodes que les ondes solaires. La lumière électrique présente aussi cet avantage, que ses rayons obscurs forment une plus grande partie de son rayonnement total que la chaleur obscure du soleil. En effet, la force ou l'énergie, s'il m'est permis de me servir de cette expression, des ondes obscures de la lumière électrique, est égale à au moins sept fois celle de ses ondes lumineuses. C'est donc de la lumière électrique que nous nous servirons pour nos démonstrations expérimentales.

Cette chambre est traversée par un rayon puissant de lumière électrique, dont la trace est rendue visible par les atomes de poussière qui flottent dans l'air; sans ces ato-

mes, le rayon serait invisible. Il tombe sur un miroir concave (un miroir de verre étamé suffit), et ce miroir le concentre en un cône de rayons réfléchis ; le sommet lumineux de ce cône, qui est le foyer du miroir, se trouve à environ quinze pouces (38 centimètres) de la surface réfléchissante. Nous marquons exactement ce foyer.

Et maintenant, plaçons sur le trajet du rayon une substance qui intercepte complètement la lumière. C'est de l'iode, dissous dans le bisulfure de carbone. La lumière du foyer disparaît dès que la solution opaque se trouve placée sur le trajet du rayon. Mais cette solution laisse passer toutes les ondes obscures, et le foyer de ces ondes subsiste dans l'air de la chambre, après que le foyer lumineux a disparu. On peut sentir avec la main la chaleur de ces ondes; on peut les recevoir sur un thermomètre qui en indique immédiatement l'existence; ou bien, ce qui vaut mieux encore, on peut les employer à produire un courant d'électricité qui fait dévier une longue aiguille aimantée. L'amplitude de la déviation donne la mesure de l'intensité de la chaleur.

Prenons maintenant une lampe plus puissante et un meilleur miroir, un miroir argenté à sa face antérieure, et ayant une distance focale moindre; nous obtiendrons des résultats encore plus frappants. Comme tout à l'heure, le foyer est parfaitement visible, grâce aux atomes de poussière que la lumière vient éclairer. Nous tamiserons d'abord le rayon de manière à en intercepter les ondes obscures, et nous laisserons alors les ondes purement lumineuses agir avec leur plus grande puissance sur un peu de coton-poudre que nous mettrons au foyer.

L'effet est absolument nul : le coton-poudre pourrait rester une semaine au foyer lumineux sans prendre feu.

Cessons maintenant de tamiser le rayon, et laissons-le agir sur le coton-poudre : nous obtenons une explosion immédiate. Cette expérience démontre que les ondes lumineuses ne peuvent enflammer le coton-poudre, tandis que celles du rayon à l'état naturel le font sur le champ; nous pouvons donc en conclure que ce sont les ondes obscures qui déterminent réellement l'explosion.

Mais cette conclusion n'est que probable; en effet, on pourrait dire que le mélange des ondes obscures et des ondes lumineuses est nécessaire pour obtenir ce résultat. Prenons donc notre solution opaque, pour isoler les ondes obscures et les concentrer sur le coton-poudre. L'explosion a lieu comme auparavant.

Ainsi ce sont les ondes obscures, et elles seules, qui agissent pour enflammer le coton-poudre.

Au même foyer obscur, nous portons au rouge-vif des feuilles de platine; nous brûlons du zinc; nous enflammons instantanément le papier; nous brûlons un fil de magnésium; nous allumons un charbon placé dans un récipient plein d'oxygène; nous allumons également dans l'oxygène un diamant : il devient aussi brillant qu'une étoile, puis se consume peu à peu. Et, pendant tout ce temps, l'air qui est au foyer reste à la même température que dans le reste de la chambre.

Pour isoler les ondes lumineuses, nous nous servons d'une solution limpide d'alun; pour isoler les ondes obscures, nous employons la solution d'iode dont nous avons déjà parlé. Mais, nous l'avons déjà dit, l'alun ne filtre pas aussi bien les rayons lumineux que l'iode, car il laisse passer une partie de la chaleur obscure.

Bien que les ondes lumineuses ne puissent, comme nous venons de le voir, enflammer le coton-poudre, elles

peuvent brûler un papier noir, ou même enflammer le coton-poudre préalablement noirci. Le coton blanc n'absorbe pas la lumière, et sans absorption il n'y a point élévation de température. Le coton noirci absorbe la lumière, il s'échauffe et fait explosion.

Au lieu d'une solution d'alun, nous prendrons pour notre prochaine expérience un vase d'eau pure, que la lumière traverse sans être absorbée. Au foyer se trouve une petite éprouvette qui contient aussi de l'eau : sur cette éprouvette se concentre toute la force de la lumière. L'eau n'est pas échauffée d'une manière appréciable par les ondes lumineuses concentrées. Nous ôtons maintenant le vase d'eau interposé entre le foyer et le miroir : il ne se manifeste aucun changement dans le rayon lui-même, mais l'eau de l'éprouvette se met aussitôt à bouillir.

Puisque les ondes lumineuses ne produisent aucun effet calorifique, et que le rayon complet agit énergiquement, nous sommes en droit d'en conclure que c'est aux ondes obscures qu'appartient la puissance calorifique. Pour mieux justifier cette conclusion, servons-nous de notre filtre d'iode opaque. Si nous mettons cette solution sur le trajet du rayon, la lumière est complètement interceptée, mais l'eau se met à bouillir tout comme elle le faisait sous l'influence du rayon complet.

Notre conclusion était donc légitime.

Passons maintenant à la fusion de la glace. Sur la surface extérieure d'un flacon plein d'un mélange réfrigérant, nous obtenons une couche épaisse de gelée blanche. Après que le rayon a traversé un vase d'eau, ses ondes lumineuses sont concentrées sur la surface du flacon : pas une seule des petites aiguilles de glace ne fond. Nous enlevons le vase d'eau : en un instant on voit fondre une

plaque de gelée blanche un peu plus grande qu'une pièce de deux francs. Ainsi, puisque le rayon complet détermine la fusion de la glace, et que la partie lumineuse du rayon est impuissante, c'est aux ondes obscures que nous devons attribuer l'effet produit.

Comme vérification, nous pouvons, ainsi que dans le cas précédent, concentrer sur le flacon, les ondes obscures seules : la glace fond exactement comme sous l'influence du rayon complet.

Ces effets ressortiront d'une manière encore plus frappante, si nous noircissons, en y ajoutant un peu d'encre, le mélange réfrigérant du flacon. Dès que la mince couche de glace extérieure est fondue, la couleur noire du mélange réfrigérant tranche vivement sur la blancheur du reste de la surface. Si l'on noircit le flacon lui-même, et non le mélange réfrigérant, les ondes purement lumineuses, étant absorbées par le verre, l'échauffent ; le verre réagit sur la glace et la fait fondre. C'est pour cela qu'il vaut mieux noircir le mélange contenu dans le flacon, que le flacon lui-même.

Cette expérience démontre bien que ce sont les ondes obscures du soleil qui déterminent la fusion des neiges et des glaces des montagnes, et donnent ainsi naissance à tous les cours d'eau qui sortent des glaciers.

Certains écrivains semblent regarder la science comme une accumulation de faits, et, par suite, doutent de son efficacité comme exercice du raisonnement. Mais tout ce que nous venons de voir provient de la raison, appuyée, il est vrai, sur la base solide de l'observation et de l'expérience. Tel est aussi l'esprit dans lequel nous voulons poursuivre cette étude.

## CHAPITRE III

### DISTILLATION DE L'OCÉAN. — PLUIES TROPICALES

*Distillation de l'Océan.* — Le soleil, nous le savons, n'est jamais exactement au zénith d'aucun point de l'Angleterre. Mais à l'équateur, et dans certaines limites au Nord et au Sud de cette ligne, le soleil, à certains moments de l'année, se trouve exactement au zénith à midi. Ces limites sont le tropique du Cancer et celui du Capricorne. C'est sur la zone comprise entre ces deux cercles que les rayons du soleil tombent avec le plus de puissance; car ils arrivent verticalement, et échauflent la terre et la mer plus que quand ils frappent obliquement.

Quand les rayons verticaux du soleil frappent la terre, ils l'échauffent, et l'air qui se trouve en contact avec le sol chaud s'échauffe à son tour. Mais l'air échauffé se dilate, et quand il se dilate il devient plus léger. Cet air plus léger monte, comme un morceau de bois plongé dans l'eau, à travers les couches d'air plus denses qui se trouvent au-dessus.

Quand les rayons du soleil viennent frapper la mer, l'eau s'échauffe, mais moins que la terre. L'eau échauffée se dilate, devient, par conséquent, plus légère, et, par suite,

reste à la surface. Cette couche d'eau supérieure échauffe, jusqu'à un certain point, l'air avec lequel elle se trouve en contact, mais émet aussi une certaine quantité de vapeur d'eau, laquelle, étant bien plus légère que l'air, aide celui-ci à s'élever. Ainsi, et sur terre et sur mer s'établissent des courants ascendants dus à l'action du soleil.

Arrivés à une certaine hauteur dans l'atmosphère, ces courants se partagent et se dirigent en partie vers le nord et en partie vers le sud ; en même temps, du nord et du sud un courant d'air plus dense et plus froid vient remplacer l'air chaud qui s'élève.

Ainsi s'établit dans l'atmosphère une circulation incessante. L'air et la vapeur de l'équateur forment un courant supérieur qui se dirige vers les deux pôles, tandis que l'air des pôles forme un courant inférieur vers l'équateur. Ces deux courants d'air s'appellent courant alisé supérieur et courant alisé inférieur.

Mais avant de revenir des pôles, l'air subit de grands changements. En effet, au moment où il quittait les régions équatoriales, il était chargé de vapeur d'eau, et cette vapeur ne peut rester sous la même forme dans les régions polaires. Sous l'action du froid, elle se condense et tombe, tantôt en pluie et plus ordinairement en neige. Les terres voisines des pôles sont couvertes de cette neige, qui donne naissance à de vastes glaciers, comme nous l'expliquerons tout à l'heure.

Il est indispensable de se faire une idée parfaitement nette de ce qui se passe dans ce cas, car on a souvent très-mal compris le rapport qui existe entre les glaciers et la chaleur solaire.

On a supposé que, si la chaleur solaire diminuait, il se formerait des glaciers plus étendus que ceux qui existent

actuellement. Mais la diminution de la chaleur du soleil ferait infailliblement décroître la quantité de vapeur d'eau, ce qui arrêterait la source même des glaciers. Un exemple éclaircira mieux encore ce que j'avance.

Dans le procédé de la distillation ordinaire, le liquide que l'on veut distiller est chauffé et converti en vapeur dans un vase, puis refroidi et ramené à l'état liquide dans un autre. D'après ce que nous venons de dire, il est évident que la terre et l'atmosphère constituent un vaste appareil de distillation, dans lequel l'océan équatorial joue le rôle de chaudière, et les régions glacées des pôles, celui de condensateur. Dans cette opération de distillation, la *chaleur* joue un rôle non moins nécessaire que le *froid;* et, pour que l'évêque Heber pût parler des montagnes de glace du Groënland, il fallait que d'abord l'océan équatorial fût échauffé par le soleil. Mais nous reviendrons encore sur cette question.

*Expériences à l'appui.* — J'ai dit que l'air échauffé se dilate; voici comment on peut procéder, si l'on tient à vérifier le fait. On prend un flacon vide, et l'on y adapte un bouchon traversé par un tube de verre étroit. En faisant chauffer le tube dans la flamme d'une lampe à alcool, on a pu le recourber de façon que, le flacon étant debout, l'extrémité du tube plonge dans un vase plein d'eau. Or, si l'on permet à la flamme de la lampe à alcool de lécher les parois du flacon, elle échauffera le verre, qui, à son tour, échauffera l'air intérieur ; alors celui-ci se dilate, passe par le tube étroit, et traverse l'eau en y formant une série de bulles.

Si l'air chaud était libre, il s'élèverait à travers l'air froid qui est plus lourd. Pour le prouver, projetons un rayon de soleil ou toute autre lumière intense sur un mur

ou un écran blanc, dans une chambre obscure. Mettons un fer rouge, une bougie allumée ou une flamme de gaz sous le rayon. Un courant ascendant s'élève du corps chaud et traverse le rayon lumineux, et l'action de l'air sur la lumière rend les ondulations du courant d'air parfaitement visibles sur l'écran. Quand l'air est assez chaud, et par conséquent assez léger, si on l'emprisonne dans un sac de papier, il l'emporte avec lui : c'est la montgolfière.

Prenez deux feuilles de papier égales, pliez-les en forme de cône, et suspendez-les, la pointe en l'air, aux deux bouts du fléau d'une balance de précision. Equilibrez exactement, puis mettez pendant un instant la flamme d'une lampe à alcool sous la base ouverte de l'un des cônes : l'air chaud monte et soulève immédiatement ce cône.

Sous un abat-jour de verre renversé faites entrer un peu de fumée. Laissez le mouvement de l'air s'arrêter, puis mettez simplement la main à l'ouverture de l'abat-jour : l'air s'échauffe au contact de la main, et il se produit des ouragans en miniature. L'effet devient encore plus frappant, si la fumée est fortement éclairée.

Ce n'est qu'*indirectement* que l'air des tropiques est échauffé par le soleil. En effet, les rayons du soleil peuvent à peine élever la température de l'air qu'ils traversent ; mais ils échauffent la terre et l'océan, et ceux-ci communiquent leur chaleur à l'air avec lequel ils se trouvent en contact. L'air et la vapeur s'élèvent, emportant avec eux la chaleur qu'ils ont reçue.

*Pluies tropicales.* — Mais la condensation a lieu bien avant que l'air et la vapeur de l'équateur n'arrivent aux pôles. Toutes les fois qu'un courant d'air humide et chaud se mêle à un autre courant sec et froid, il pleut. Et même

les pluies les plus fortes tombent dans les régions qui reçoivent les rayons verticaux du soleil. Examinons avec plus de soin l'origine de ces pluies.

Supposons que l'on ait rempli une vessie aux deux tiers avec de l'air pris au niveau de la mer, et qu'on la porte au sommet du Mont Blanc. A mesure que l'on monte, la vessie se gonfle de plus en plus ; au sommet de la montagne, elle est complétement tendue, et résiste évidemment à la pression du dedans. Mais, si l'on redescend au niveau de la mer, on la verra se détendre peu à peu, et redevenir aussi flasque qu'auparavant.

Le fait s'explique facilement. Au niveau de la mer, l'air contenu dans la vessie a à supporter la pression de toute l'atmosphère, ce qui le réduit à un volume assez petit. Quand on gravit la montagne, on laisse au-dessous de soi une partie de l'atmosphère de plus en plus considérable ; la pression diminue d'autant, pendant que l'air contenu dans la vessie réagit par sa force d'expansion, et gonfle celle-ci de plus en plus. Au sommet de la montagne, la dilatation de l'air intérieur tend complétement la vessie, parce que la pression intérieure est plus grande que la pression extérieure. Avec la machine pneumatique, on peut facilement montrer comment se dilate un ballon à moitié rempli d'air, sous un récipient où l'on a fait un vide partiel.

Mais pourquoi insister sur ce fait ? Simplement pour faire comprendre que *l'air libre*, échauffé à la surface de la terre et s'élevant en vertu de sa plus grande légèreté, doit se dilater de plus en plus à mesure qu'il s'élève à travers l'atmosphère.

Et maintenant il faut que je vous parle d'un autre fait, auquel vous êtes suffisamment préparés par ce qui précède. Ce fait s'énonce ainsi : — *l'air qui monte se refroidit*

*en se dilatant.* Ce refroidissement est même une des causes du froid qui règne dans les régions supérieures de l'atmosphère. Et maintenant, considérez attentivement ces courants d'air et de vapeur d'eau mélangés, qui s'élèvent de la surface chaude de l'océan, entre les tropiques. Ils partent avec toute la chaleur nécessaire pour maintenir la vapeur dans le même état ; mais, à mesure qu'ils s'élèvent, ils trouvent des régions déjà très-froides, et ils se refroidissent encore plus par l'effet de leur propre dilatation. Le résultat est facile à prévoir. La vapeur dont l'air est chargé se condense en grande partie, des nuages épais se forment, leurs particules se réunissent en gouttes de pluie, et celles-ci tombent chaque jour en telle abondance, qu'on se sert avec raison du mot torrentielles pour désigner ces pluies. Il ne serait pas impossible de vous faire voir ce refroidissement par dilatation, ainsi que la condensation de nuages qui en résulte.

Ainsi, bien avant que l'air parti de l'équateur ne soit arrivé aux pôles, une grande partie de sa vapeur s'en est séparée, pour retomber sur la terre sous forme de pluie. Néanmoins une proportion notable de vapeur continue son chemin, et va porter aux régions du nord et du sud la grêle, la pluie et la neige.

*Expériences.* — J'ai dit que l'air se refroidit en se dilatant. Voici comment on peut le prouver. On prend un récipient en fer, muni d'un robinet ; à ce robinet on adapte une pompe de compression, et on accumule de l'air dans le récipient, jusqu'à ce que l'on ait doublé ou triplé la densité de l'air intérieur. Immédiatement après, un thermomètre convenablement disposé indique que la boîte et l'air qu'elle renferme se sont échauffés. Ouvrons maintenant le robinet, et laissons échapper l'air

comprimé : si nous dirigeons le courant sur un thermomètre, il se refroidit visiblement. Avec d'autres instruments, on pourrait rendre le refroidissement encore plus évident. La main même sent le refroidissement de l'air qui se dilate.

Dirigez sur le courant une lumière vive, comme, par exemple, celle d'un rayon du soleil concentré ; si l'air comprimé est de l'air humide ordinaire, vous verrez que le refroidissement a déterminé la formation d'un petit nuage. Mais on peut rendre ce phénomène encore plus frappant de la manière suivante :

Dans une chambre privée de jour, faites passer un fort rayon de lumière par un tube de verre d'un mètre de long et de 7 à 8 centimètres de diamètre, fermé aux deux bouts par des plaques de verre. Faites communiquer ce tube par un robinet avec un vase d'une capacité environ quatre fois moindre, dans lequel vous aurez fait le vide à l'aide de la machine pneumatique ; le cylindre de la machine pneumatique elle-même peut parfaitement servir dans ce cas. Remplissez le tube de verre d'air humide, puis ouvrez simplement le robinet qui le fait communiquer avec le récipient vide. L'air, qui trouve un espace libre, se dilate ; cette dilatation est accompagnée de refroidissement, et aussitôt un nuage épais et brillant remplit le tube. Quand on ne fait l'expérience que pour soi, on peut voir le nuage à la lumière ordinaire ; d'ailleurs, toutes les fois qu'on fait rapidement le vide dans un récipient plein d'air humide, ce phénomène de condensation se produit.

On peut ainsi faire condenser les vapeurs d'autres liquides que l'eau, et certaines d'entre elles donnent des nuages d'un grand éclat, qui présentent des phénomènes d'irisation tels que l'on en remarque quelquefois, mais

rarement, dans les nuages qui flottent au-dessus des Alpes.

Dans la science, ce qui est vrai en petit l'est aussi en grand. Ainsi, en réunissant les conditions qui se retrouvent en grand dans la nature, nous obtenons sur une petite échelle les phénomènes des nuages de l'atmosphère.

# CHAPITRE IV

CONDENSATION DES VAPEURS PAR LES MONTAGNES. — STRUCTURE DE LA NEIGE. — PÔLES ATOMIQUES. — STRUCTURE DE LA GLACE DES LACS.

*Condensation des vapeurs par les montagnes.* — Pour compléter cette explication de la condensation des vapeurs atmosphériques, il faut tenir compte de l'action des montagnes. Supposons qu'un vent de sud-ouest souffle sur l'Atlantique dans la direction de l'Irlande. Sur son passage, il se charge de vapeurs aqueuses. Dans le sud de l'Irlande, il rencontre les monts Kerry, dont le plus élevé porte le nom de *Magillicuddy's Reeks*, près de Killarney. Or, la couche inférieure de ce vent de l'Atlantique est la plus chargée de vapeur. En rencontrant la base des monts Kerry, le courant rebondit et passe par-dessus. La vapeur dont il est chargé se trouve donc portée à une hauteur plus grande, se dilate en y arrivant, se refroidit par suite de cette dilatation, et retombe en pluie abondante. Telle est, en effet, l'origine de la végétation luxuriante du comté de Killarney; c'est de là aussi que proviennent les eaux des lacs du voisinage. Les crêtes glacées des montagnes contribuent aussi, pour leur part, à la condensation des vapeurs.

Voyons les conséquences de ces faits. Au sud-ouest des *Magillicuddy's Reeks* se trouve une ville appelée *Cahirciveen*, où l'on a noté la quantité annuelle de pluie que reçoit la ville ; et, bien plus loin au nord-est, juste sur la direction que suit le vent du sud-ouest, se trouve une autre ville, nommée Portarlington, où l'on a fait des observations de même nature. Mais, avant d'arriver à cette dernière, le vent a franchi les monts Kerry, et y a perdu une grande partie de son humidité. Qu'en résulte-t-il? A Cahirciveen, d'après le Dr Lloyd, il tombe 59 pouces (1 m. 47) de pluie par an, tandis que Portarlington n'en reçoit, dans le même temps, que 21 pouces (0 m. 52).

Dans les Alpes aussi, il peut quelquefois arriver que l'on descende le versant italien par une pluie et une neige continuelles, et qu'en arrivant dans les plaines de la Lombardie, on trouve un ciel bleu et sans nuages, tandis que le vent *a soufflé tout le temps de la plaine vers les Alpes*. Dans la plaine, le vent est assez chaud pour que sa vapeur reste à l'état transparent ; mais il rencontre les montagnes, est soulevé par elles, se dilate et se refroidit. Le froid des sommets les plus élevés contribue aussi à ce refroidissement de l'air. Il en résulte que la vapeur se précipite à l'état de pluie ou de neige, de sorte que le temps est mauvais sur les hauteurs, tandis que, plus bas, les plaines, que traverse le même vent, présentent un ciel serein. Les nuages *qui viennent des Alpes*, vont quelquefois aussi se dissoudre au-dessus des plaines de la Lombardie.

A cette explication de la formation des nuages par les montagnes l'on peut rattacher celle d'un phénomène tout à fait instructif. On voit souvent une traînée de nuages de plusieurs centaines de mètres de long qui se rattache à

quelque pic des Alpes. Elle semble parfaitement immobile, même lorsqu'un vent violent souffle en ce moment au-dessus de la montagne. Pourquoi le nuage n'est-il pas emporté par ce vent? Il est emporté; son immobilité n'est qu'apparente. Une de ses extrémités se dissout sans cesse; l'autre se renouvelle constamment: ces deux changements s'opérant d'une manière égale, le nuage semble aussi immobile que la montagne à laquelle il paraît attaché. Quand la lumière rouge du soleil couchant éclaire ces bannières de vapeurs, on dirait d'énormes torches dont la flamme est rabattue par le vent.

*Structure de la neige.* — Nous voici dans la position d'hommes qui ont gravi un pic escarpé et se sont par là assuré la jouissance d'un vaste panorama. Maintenant que nous connaissons les conditions qui déterminent la production des neiges sur les montagnes, nous pouvons considérer en grand et avec intelligence les phénomènes des glaciers.

Ajoutons encore quelques mots sur la formation de la neige. Les molécules et les atomes de toutes les substances, lorsqu'elles peuvent agir librement, s'arrangent en formes définies et ordinairement fort belles, qu'on appelle des cristaux. Le fer, le cuivre, l'or, l'argent, le plomb, le soufre, lorsqu'on les fond et qu'on les laisse refroidir lentement, manifestent tous cette puissance de cristallisation. Le bismuth la montre d'une manière tout-à-fait frappante : si on le fait fondre et se solidifier dans des circonstances convenables, ce métal donne de fort beaux cristaux de grande dimension.

Faites dissoudre du salpêtre dans l'eau, et laissez la solution s'évaporer lentement; vous obtiendrez de gros cristaux, parce qu'aucune portion du sel ne se convertit en

vapeur. L'eau de pluie est douce, quoiqu'elle nous vienne de la mer qui est salée. Le sucre dissous dans l'eau, et soumis à l'évaporation, nous donne des cristaux de sucre candi. L'alun cristallise facilement par le même procédé. Des silex dissous, comme cela arrive quelquefois dans la nature, donnent par cristallisation les prismes et les pyramides du cristal de roche. La craie dissoute et cristallisée donne le spath d'Islande. Le diamant n'est que du charbon cristallisé. Toutes nos pierres précieuses, le rubis, le saphir, le béril, la topaze, l'émeraude, sont dus à la cristallisation.

Tout le monde a entendu parler de la force de gravitation ; on sait que cette force n'est autre chose que l'attraction de toutes les particules matérielles les unes pour les autres. C'est cette attraction qui retient les planètes et les lunes dans leurs orbites. Mais la gravitation est une chose très-simple auprès de la force, ou plutôt des forces, de cristallisation. Ici, en effet, les particules ultimes de la matière, quoique d'une petitesse inconcevable, paraissent douées de pôles d'attraction et de répulsion, dont l'action mutuelle détermine la forme et la structure du cristal. A l'état solide, les pôles qui s'attirent sont unis d'une manière invariable; mais, sous l'influence d'une chaleur assez forte, le lien qui les unit se relâche, et, à l'état liquide, les pôles s'écartent assez pour être pratiquement en dehors de leur sphère d'attraction mutuelle. La tendance naturelle qu'ont les molécules à se réunir, se trouve ainsi neutralisée.

C'est ce qui arrive pour l'eau, laquelle, à l'état liquide, paraît absolument amorphe. Si on la refroidit suffisamment, ses molécules se rapprochent de manière à subir l'influence de la force de cristallisation, et se disposent

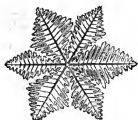
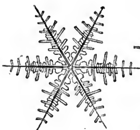
[illegible]

[illegible] nous [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] procédé.
[illegible] quelquefois dans la
[illegible] les [illegible]
[illegible] et [illegible]
[illegible] que [illegible]
[illegible]
le [illegible] à la
[illegible]

[illegible] de la force de [illegible]
[illegible] autres [illegible] que [illegible]
[illegible]
[illegible] des planètes.
[illegible]
[illegible] les forces,
[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] du [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] en
[illegible]
[illegible] réduire, se trouve [illegible]

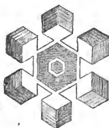
[illegible]
[illegible] en la [illegible]
[illegible] de manière [illegible]
[illegible] et se disposent

 En face la page 35.

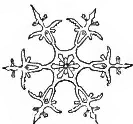















Cristaux de neige.


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
LYON

alors en formes d'une beauté extrême. Quand la neige se produit dans une atmosphère calme, les molécules glacées prennent la forme de belles étoiles à six rayons. Ce type est invariable, quoique, à d'autres égards, les apparences de ces étoiles neigeuses soient infiniment variées. Dans les régions polaires, ces formes exquises ont été observées par le D[r] Scoresby, qui en a donné de nombreux dessins. Je les ai vues au milieu de l'hiver remplir l'air, et charger les pentes des Alpes. Mais on peut les voir aussi en Angleterre, et il n'est point de paroles qui puissent les représenter aussi bien que les dessins ci-joints de quelques-unes de ces formes. Ces dessins ont été exécutés à Greenwich par M. Glaisher. (Pl. II.)

Arrêtons-nous ici, et songeons un instant au travail merveilleux qui s'accomplit dans l'atmosphère, chaque fois que se forme et que tombe la neige : quel ordre dans la disposition de ces molécules, et combien les productions de l'esprit et des mains de l'homme semblent imparfaites, lorsqu'on les compare à celles des forces aveugles de la nature !

Mais comment oser dire que les forces de la nature sont aveugles ? En réalité, parler ainsi, c'est décrire notre propre condition. C'est de notre côté qu'est l'aveuglement ; ce que nous devrions réellement dire et avouer, c'est que nous sommes absolument incapables de comprendre soit l'origine, soit la fin des opérations de la nature.

Cependant, tout en reconnaissant ainsi les limites qui nous sont imposées, nous devons aussi admirer les immenses progrès faits par la science dans l'étude de la nature. De siècle en siècle et de génération en génération, les faits se sont accumulés, et des lois nouvelles ont été reconnues, révélant ainsi de plus en plus la véritable mé-

thode et l'ordre de la création. Pour le faire, la science a dû combattre et détruire la superstition et l'erreur, la crédulité et l'imposture sous toutes leurs formes. Mais le monde produit sans cesse des esprits faibles et des esprits mauvais ; et, tant qu'ils existeront côte à côte, comme ils le font de nos jours, les erreurs les plus grossières continueront à infester le monde.

*Pôles des atomes.* — J'ai parlé de pôles d'attraction et de répulsion ; quel est le sens de ces mots ? C'est à cette question que je vais essayer de répondre. Tout le monde sait que les astronomes et les géographes parlent des pôles de la terre ; tout le monde a entendu dire que les pôles d'un aimant sont les points où l'attraction et la répulsion qu'exerce l'aimant sont, en quelque sorte, concentrés.

Tout aimant a deux pôles ; et, si l'on jette un peu de limaille de fer sur un aimant, chaque parcelle de limaille acquiert aussi deux pôles. Supposons que ces parcelles, soustraites à l'action de la pesanteur, flottent dans notre atmosphère ; que se passera-t-il quand elles s'approcheront l'une de l'autre ? Evidemment les pôles qui se repoussent s'éloigneront l'un de l'autre, tandis que les pôles qui s'attirent s'approcheront et finiront par se joindre. Et, si l'on admet que chaque parcelle ait, au lieu de deux pôles, plusieurs couples de pôles situés sur des points définis de sa surface, l'on peut se les représenter, obéissant à leurs attractions et à leurs répulsions mutuelles, et s'unissant pour former des corps d'une forme et d'une structure définie.

Imaginez que les molécules d'eau, dans l'air calme et froid, possèdent des pôles de ce genre, forçant les parcelles à s'unir dans un ordre défini, et vous avez conçu

l'architecture invisible qui donne pour résultat les cristaux visibles et réguliers de la neige. Ainsi, c'est la vue des effets du magnétisme qui nous fait concevoir l'idée première des pôles ; et ensuite nous appliquons cette idée et cette conception à des parcelles que l'œil n'a jamais vues. La faculté par laquelle nous nous représentons des effets qui échappent à nos sens, a reçu des philosophes le nom d'imagination ; et l'effort de notre esprit pour se représenter la formation des cristaux, quoique ce phénomène échappe aux yeux, nous donne un exemple de l'application de cette faculté à la science. Sans l'imagination, la science pourrait avoir la faculté critique, mais il lui manquerait la faculté créatrice.

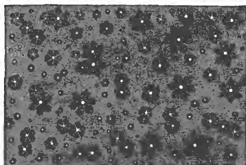
*Structure de la glace des lacs.* — Nous connaissons les belles fleurs de neige que construisent les molécules d'eau dans une atmosphère calme et froide. Ces molécules agissent-elles de même dans la congélation de l'eau ordinaire ? Quelle est, par exemple, la structure de la glace sur laquelle nous patinons en hiver ? Elle est tout aussi merveilleuse que celle des fleurs de la neige. Cette observation est rare, sinon nouvelle, mais j'ai vu, lors de la congélation lente de l'eau, des étoiles de glace à six rayons se former et flotter librement à la surface. En outre, c'est une étoile à six rayons qui est la base de la structure de toute la glace de nos lacs ; cette glace n'est formée que de ces figures merveilleusement entrelacées.

Prenez une plaque de glace recueillie sur un lac, et mettez-la sur le trajet d'un rayon de soleil concentré. Qu'arrive-t-il alors ? Une partie du rayon est arrêtée, l'autre partie traverse la glace : la première détermine une liquéfaction intérieure ; la seconde n'a aucun effet sur la glace. Mais la liquéfaction ne s'opère pas d'une manière

uniforme. Çà et là sur la glace on voit étinceler de petits points brillants. Chacun de ces points est entouré d'une belle fleur liquide à six pétales.

L'eau et la glace ont des propriétés optiques tellement semblables, que ce n'est qu'une certaine incidence de la lumière sur ces fleurs qui peut vous les faire voir. Mais qu'est-ce que le point central? Un vide. La glace flotte sur l'eau, parce qu'à volume égal elle est plus légère que l'eau, de sorte que, lorsque la glace fond, elle diminue de volume. Les fleurs liquides peuvent-elles alors occuper tout l'espace que remplissait la glace fondue? Evidemment non. Un petit espace vide se forme entre les fleurs, et cet espace, ou plutôt sa surface, brille au soleil de l'éclat de l'argent poli.

Dans tous les cas, les fleurs se forment parallèlement à la surface de congélation. Elles se forment lorsque le soleil brille sur la glace d'un lac ; quelquefois par myriades, et si petites qu'il faut une loupe pour les apercevoir. On



Fleurs liquides de la glace de lac.

peut toujours les reconnaître ; mais leur beauté est souvent altérée par les défauts intérieurs de la glace. Une

partie d'un morceau de glace peut en montrer de parfaites, quoique la partie voisine n'en donne que d'imparfaites. Nous donnons ici une esquisse de ces belles figures.

C'est là le contraire de ce qui se passe dans la cristallisation. Le rayon de soleil dont on se sert est assez délicat pour séparer les molécules sans déranger l'ordre dans lequel elles se trouvent placées. Chacun peut faire l'expérience avec une loupe, par un jour de beau soleil. Les fleurs ne se présentent pas en désordre ; toutes sont parallèles à la surface de congélation. C'est ainsi qu'est formée toute la glace qui sert aux jeux de nos patineurs en hiver.

J'ai dit qu'une partie du rayon de soleil est arrêtée par la glace, et en détermine la liquéfaction. Quelle est cette partie? C'est la chaleur obscure du soleil. La masse des ondes lumineuses, et même une partie des ondes obscures, traversent la glace sans rien perdre de leur puissance calorifique. Quand on les concentre convenablement sur un corps combustible, même après qu'elles ont traversé la glace, cette puissance calorifique se manifeste toujours.

La glace elle-même peut servir à la concentrer. Dans les régions polaires, le Dr Scoresby a souvent concentré les rayons du soleil avec une lentille de glace, de manière à brûler du bois, enflammer de la poudre et fondre du plomb, ce qui montre bien que les rayons conservent leur puissance calorifique, même après avoir traversé une substance si froide.

En rendant parallèles les rayons de la lampe électrique, et en les faisant passer à travers une lentille de glace, nous obtenons tous les effets que le Dr Scoresby a obtenus avec les rayons du soleil.



# LIVRE II

## LA MER DE GLACE ET LE MOUVEMENT DES GLACIERS

### CHAPITRE PREMIER

LA SOURCE DE L'ARVEIRON. — LE GLACIER DES BOIS. — LA MER DE GLACE ET SES SOURCES. — LA FENTE.

*La source de l'Arveiron.* — *Le Glacier des Bois.* — Nos études préparatoires sont maintenant terminées, et nous pouvons nous diriger vers les Alpes. Le village de Chamouni, en Savoie, est traversé par une rivière nommée l'Arve; remontons cette rivière en partant de Chamouni. A quelque distance du village, la rivière se bifurque; une de ses branches conserve le nom d'Arve, et l'autre prend celui d'Arveiron. C'est ce dernier que nous remontons pour arriver à ce que l'on appelle la *source de l'Arveiron* (pl. III, fig. 1), à une petite heure de marche de Chamouni. Là, comme nous l'avons déjà dit pour le Rhône, on se trouve en face d'une énorme masse de glace, qui forme l'extrémité d'un glacier; c'est d'une arcade de cette

glace que sort l'Arveiron. Il n'est pas prudent de se risquer sous cette arcade en été : elle s'écroule quelquefois avec un bruit effrayant, et écraserait infailliblement l'imprudent qui serait au-dessous.

Observons maintenant, et jetons les yeux autour de nous. Devant la glace nous trouvons des amas et des crêtes de débris assez curieux, et plus ou moins concentriques. Ce sont les *moraines terminales* du glacier. Nous y reviendrons plus tard.

Tournons à gauche, et gravissons la pente qui longe le glacier. A mesure que nous nous élevons, nous voyons mieux toutes choses, et nous trouvons qu'ici la glace remplit une étroite vallée. Nous arrivons à une autre crête singulière, composée de débris non pas récents comme ceux que nous avons rencontrés plus bas, mais en partie couverts d'arbres, et semblant être, à la lettre, aussi vieux que les collines. C'est là une indication précieuse. Nous reconnaissons bientôt que la crête est une ancienne moraine, et nous en concluons sans hésiter que le glacier a autrefois été bien plus grand qu'il n'est maintenant. Cette ancienne moraine s'étend tout au travers de la grande vallée, et va aboutir aux montagnes du côté opposé.

Une fois que nous avons dépassé l'extrémité du glacier, laquelle est recouverte de pierres et de débris, nous nous trouvons à côté de blocs de glace d'un aspect fort remarquable. Le glacier plonge dans une gorge escarpée, et, en chemin, se fend et se brise de la manière la plus étrange : il forme des tours, des aiguilles, des formes fantastiques, dues à l'action des éléments, et qui ressemblent à des sculptures grossières (pl. III, fig. 2). De certaines crevasses profondes du glacier sort un filet de lu-

[illegible] n'est pas prudent [illegible] [illegible] infaillible[illegible] [illegible]

[illegible] et jetons [illegible] yeux autour de [illegible] des amas et de [illegible] et plus ou moins [illegible] [illegible] du glacier. Nous [illegible]

[illegible] la borde [illegible] nous élevons [illegible] la glace [illegible] écrivons [illegible] [illegible]

[illegible] un [illegible] que [illegible] est une [illegible] qu'il n'[illegible]

[illegible] est l'extrémité [illegible] de débris [illegible] [illegible] (v. III. [illegible]) [illegible] sont un effet de la [illegible]

Planche III. En face la page 42.



Fig. 1. — Source de l'Arveiron.

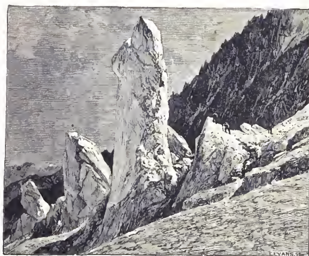


Fig. 2. — Aiguille de glace.


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
LYON
1892

mière bleuâtre. Quelquefois on entend un grondement comme celui du tonnerre, produit par l'écoulement de quelque tour de glace, ou par la chute d'une pierre énorme dans une crevasse. Le glacier conserve cet aspect sauvage et tourmenté jusqu'à une certaine distance, et le montagnard le plus agile ne pourrait s'y engager sans danger.

Nous arrivons à un endroit appelé *le Chapeau*, où nous pouvons, si nous le voulons, nous reposer dans une petite cabane. Nous passons ensuite le *Mauvais Pas*, rocher à pic, dans la paroi duquel on a taillé des marches, avec une corde pour soutenir le touriste novice. Nous continuons d'avancer, tantôt sur le flanc de la montagne, tantôt le long d'une crête d'un aspect singulièrement artificiel; c'est une *moraine latérale*. Enfin nous voyons devant nous une maison perchée sur une éminence, du côté opposé du glacier; c'est l'auberge du Montanvert, bien connue de tous ceux qui visitent cette partie des Alpes.

Ici nous traversons le glacier. J'aurais dû vous dire que sa partie inférieure, y compris la partie tourmentée dont nous avons parlé, s'appelle le Glacier des Bois, tandis que l'endroit où nous allons traverser est le commencement de la Mer de Glace. Vous sentez que ce n'est pas là tout à fait le mot propre, car ici le glacier ressemble beaucoup plus à une rivière de glace qu'à une mer. La vallée qu'il remplit a environ un demi-mille de large.

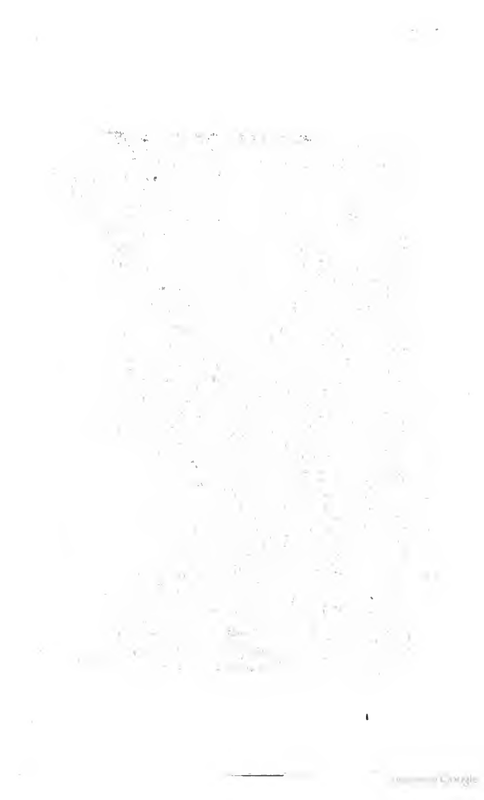
A l'endroit où nous entrons, il peut y avoir des crevasses dans la glace; mais en marchant avec précaution, il n'est pas difficile de traverser cette partie de la Mer de Glace. Plus loin nous rencontrerons des crevasses plus considérables.

Explorez du regard tout ce côté du glacier; il est rem-

pli de crevasses; mais, à mesure que nous avançons, ces crevasses deviennent plus rares, et, de l'autre côté, nous en trouverons très-peu. C'est là un point à noter. La glace est d'abord sale; mais les matières terreuses disparaissent bientôt, et vous arrivez à la surface nette et craquante du glacier. Vous aurez déjà remarqué que la glace propre est blanche, et que de loin elle ressemble plutôt à de la neige qu'à de la glace. Cela vient de l'action de la chaleur solaire sur la surface. Quand on réduit en poudre du sel gemme transparent, il devient aussi blanc que du sel marin purifié; de même, ce sont les fissures innombrables produites à la surface du glacier par les rayons du soleil, qui rendent cette surface si blanche. *A l'intérieur*, la glace est transparente. Nous traversons gaîment, nous atteignons la moraine latérale opposée, et nous gravissons la pente escarpée qui aboutit à l'auberge de Montanvert.

*La Mer de Glace et ses sources. — La Fente.* — Ici s'offre à nos yeux une vue magnifique (pl. IV). De l'autre côté du glacier, nous voyons la belle pyramide appelée l'*Aiguille du Dru*; à droite, l'*Aiguille des Charmoz*, avec ses pointes aiguës, courbées comme si elles étaient ductiles. Vers le haut du glacier, la vue est arrêtée par les crêtes élevées de la *Grande Jorasse*, qui ont près de 14 000 pieds (environ 4300 mètres) de hauteur. Nous voulons maintenant pénétrer au cœur même des montagnes, et suivre jusqu'à sa naissance la merveilleuse rivière gelée que nous venons de traverser.

Nous quittons le Montanvert, et, laissant le glacier à notre gauche, nous atteignons bientôt des rochers qui ressemblent au Mauvais Pas; on les appelle *les Ponts*. Nous les traversons, et nous arrivons à l'*Angle;* là, nous quittons la terre pour la glace. Nous remontons le glacier, mais avant



[illegible] À mesure que nous avançons, [illegible] plus rares, et, de l'autre côté, [illegible] peu. C'est là un point à noter. La glace [illegible] paraissent [illegible] surface nette et transparente du [illegible] que la glace propre est [illegible] ressemble plutôt à de la neige [illegible] leur solaire [illegible] du sel gemme [illegible] purifié; [illegible] réduites à la [illegible] rendent [illegible] *Pic Tacul*, [illegible] nous [illegible] après [illegible]

*Les* [illegible] — *Le Pont.* — [illegible] (pl. [illegible]), l'autre [illegible] l'*Aiguille* [illegible] *du Géant* [illegible] pieds, [illegible] Nous voulons [illegible] jusqu'à [illegible]

[illegible] *Ponts* [illegible]

Planche IV.

En face la page 41.



La Mer de glace, le mont Tacul et la Grande-Jorasse, avec La Fente au-dessus de Trélaporte à droite.


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
LYON

d'atteindre le promontoire de *Trélaporte*, nous reprenons le flanc de la montagne; car, quoique nous ayons abandonné ce chemin à cause des dangers qu'il présente, nous sommes prêts à nous exposer raisonnablement pour nous instruire .Un petit glacier se trouve sur le coteau à notre droite. Nous pouvons voir un ou deux énormes rochers en équilibre à l'extrémité du glacier; et même, si le hasard nous favorise, nous pouvons aussi voir un d'eux, devenu libre, se précipiter violemment sur la pente. Pour éviter le danger, il ne faut que de la présence d'esprit; mais les voyageurs n'en ont pas toujours, et c'est pour cela que le sentier qui passait autrefois sur cette pente, a été abandonné. Tout le coteau est encombré des masses de rocher qui viennent de ce petit glacier. Il est bon que nous les ayons vues; nous allons bientôt expliquer leur présence en cet endroit.

Au-dessus de Trélaporte, à droite, on voit dans les rochers une fente fort singulière, au milieu de laquelle s'élève un pilier isolé, sans doute taillé par l'action des éléments. Nous cherchons à arriver à la tour de rochers qui se trouve à gauche de cette ouverture, car de là nous dominerons la Mer de Glace et ses sources, et cette vue ne sera pas perdue pour notre instruction.

La Fente dont j'ai parlé, avec son pilier, se voit à droite de la gravure qui précède; au-dessous on aperçoit aussi le petit glacier.

On peut arriver à cette fente par un couloir escarpé, visible de notre position actuelle; il aboutit directement à l'ouverture. Mais ces couloirs sont très-dangereux, car ce sont les chemins que suivent les pierres qui tombent des hauteurs. Nous prendrons donc les rochers qui sont à gauche du couloir; pour cela il faut reconnaître des yeux

les points abordables, et les attaquer de ce côté. Dans les Alpes, aussi bien qu'autre part, on peut faire des choses étonnantes, si on regarde les obstacles avec fermeté, et qu'on les attaque du côté qui paraît accessible. Nous atteignons ainsi le point culminant, où la beauté du spectacle et tout ce qu'il nous apprend sur la formation de la Mer de Glace, font plus que nous dédommager des fatigues de notre ascension.

Au-dessous de nous, nous voyons le glacier étendre sa langue glacée plus loin que le Montanvert. Nous voyons, en outre qu'il se divise en trois branches, dont deux sont plus larges que la partie que nous connaissons Regardons la branche de droite, le *Glacier du Géant*. Il présente une surface unie jusqu'à une grande distance en remontant; puis cette surface devient tourmentée, et se change en une grande cascade gelée, du haut de laquelle la glace semble se précipiter en désordre. Au dessus de la cascade, on voit une plaine de neige brillante, de plusieurs milles carrés de surface.

## CHAPITRE II

CASCADE DE GLACE ET NEIGES DU COL DU GÉANT. — CE QUE NOUS APPRENNENT LES GLACIERS. — RAMIFICATIONS ET MORAINES MÉDIANES DE LA MER DE GLACE. — LE TALÈFRE ET LE JARDIN. — LES CREVASSES.

*Cascades de glace et neiges du Col du Géant.* — Au lieu de gravir la hauteur où nous nous trouvons en ce moment, nous aurions pu continuer à marcher sur la Mer de Glace, tourner le promontoire de Trélaporte, et remonter le glacier du Géant. Nous aurions marché sur la glace jusqu'au pied de la cascade. Cette glace est moins compacte que celle que nous avions vue plus bas, mais personne ne songerait à dire que ce n'est pas de la glace.

A mesure que nous approchons de la chute, la surface devient de moins en moins unie. Les crêtes transversales se succèdent de près, et deviennent de plus en plus escarpées. La glace est à chaque instant bouleversée et coupée de fissures. Nous suivons des ravins tortueux, nous gravissons d'énormes monticules de glace, et nous rampons avec précaution le long de crêtes peu solides, bordées de crevasses des deux côtés. La confusion va en augmentant, et enfin il devient impossible d'avancer davantage au centre du glacier.

Mais avec une hache pour pratiquer des marches dans les murailles de glace et les pentes les plus escarpées, on peut, en appuyant à droite ou à gauche, arriver jusqu'au sommet de la cascade. Si l'on monte à droite, il faut se méfier des avalanches de glace qui roulent souvent d'en haut avec un bruit de tonnerre; si c'est à gauche, il faut se mettre en garde contre les pierres qui se détachent de l'*Aiguille noire*. Une fois la cascade franchie, il faut bien prendre garde aux larges crevasses que l'on rencontre à chaque pas jusqu'à une certaine distance. Mais, avec de la prudence, on peut les tourner, ou quelquefois les franchir sur des ponts de neige. C'est ici que l'on a besoin de l'adresse et des connaissances que donne seule une longue pratique; c'est ici que la corde en usage dans les Alpes peut rendre de grands services. En effet, les ponts de neige sont souvent fragiles, et, de plus, des crevasses entières se trouvent quelquefois recouvertes, de sorte que le malheureux voyageur n'est averti de leur existence qu'en sentant la neige céder sous ses pieds. Plus d'un a ainsi perdu la vie, et cela tout récemment.

Une fois sur le plateau qui domine la chute, nous constatons que la surface est entièrement différente. En bas, nous étions sur de la glace; ici, nous nous trouvons sur de la neige. Après avoir gravi une pente douce, mais fort longue, nous voyons s'abaisser la crête qui borne la plaine de neige, et nous pouvons apercevoir l'Italie. Nous sommes au fameux *Col du Géant*.

Ce ne sont pas des touristes oisifs qui ont les premiers fait connaître ces lieux sauvages; la découverte n'en est due ni à la recherche de la santé qui amène maintenant certains voyageurs, ni à celle des grands et beaux spectacles, qui en amène d'autres; ni à l'envie de pouvoir

dire : « J'ai gravi une montagne ou passé un col, » qui, je le crains, en amène beaucoup aussi. Elle est due à l'amour de la science : le célèbre de Saussure a passé dix-sept jours en cet endroit, occupé d'observations scientifiques.

*Ce que nous apprennent les glaciers.* — Considérons un instant les faits que nous a révélés notre excursion. La neige que nous venons de parcourir si péniblement est celle de l'hiver et du printemps derniers. Si, au mois d'août précédent, nous avions mis une marque convenable à la surface de la neige, nous la retrouverions maintenant à une certaine profondeur au-dessous. Le soleil d'été en a fondu beaucoup, mais il en reste beaucoup encore, et cette neige persistera jusqu'à ce que celles de l'hiver prochain viennent la recouvrir. Celles-ci, à leur tour, subsisteront en partie jusqu'au mois d'août suivant, pour être recouvertes par les neiges d'un autre hiver. Nous pouvons donc conclure avec certitude que, sur le plateau du Col du Géant, *il tombe chaque année plus de neige qu'il n'en fond.*

Si nous étions venus en avril ou en mai, nous aurions trouvé le glacier au pied de la chute également couvert de neige que la chaleur de l'été a fait entièrement disparaître. Et même la glace y fond évidemment : elle forme des ruisseaux qui creusent des canaux dans la glace, et s'étendent çà et là en petits lacs d'un bleu verdâtre. Nous pouvons donc conclure avec certitude qu'au pied de la chute *le glacier reçoit moins d'eau congelée qu'il n'en perd par la fonte des glaces.*

De là, aussi, une autre conclusion inévitable : entre le glacier qui est au-dessus de la chute, et le plateau qui se trouve au-dessous, il doit y avoir une ligne sur laquelle la quantité de neige qui tombe *est absolument égale* à celle

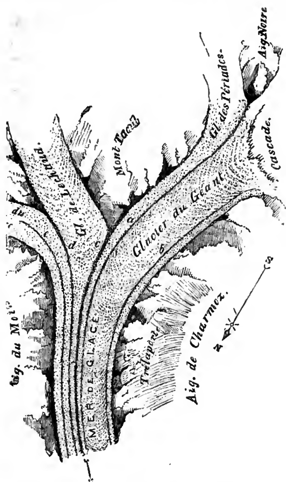
qui fond chaque année. C'est la *ligne de neige*. Sur certains glaciers elle est tout-à-fait distincte, et le serait également ici, si la glace était moins accidentée et bouleversée qu'elle ne l'est.

On donne le nom de *névé* à la région glacée qui est audessus de la ligne de neige, et l'on réserve le nom de *glacier* pour la glace qui se trouve au-dessous de cette ligne. Ainsi les neiges du Col du Géant représentent le névé du glacier du Géant, et, en partie, le névé de la Mer de Glace.

Mais si chaque année laisse ainsi un excédant de neige sur le plateau du Col du Géant, il en résulte nécessairement que ce plateau doit s'élever chaque année, *pourvu que la neige y reste*. Il est également certain que toute la longueur du glacier au-dessous de la cascade doit s'abaisser peu à peu, *à moins que les pertes subies chaque année ne soient réparées*. Supposons qu'il reste chaque année sur le Col deux pieds de neige; en cinq mille ans, il se trouvera accru d'une hauteur bien supérieure à celle du Mont Blanc. Telle est l'accumulation qui doit se produire si la neige reste sur le Col; mais elle *ne se produit pas;* donc la neige ne reste pas sur le Col. Que devient-elle? C'est là la question.

*Ramifications et moraines médianes de la Mer de Glace à partir de la station de la Fente.* — Nous allons nous en occuper dans un instant. En attendant, regardons la vallée de glace située en face de nous, et qui s'étend, entre le *Mont Tacul* et l'*Aiguille de Léchaud*, jusqu'à la base de la grande crête appelée la *Grande-Jorasse*. C'est ce que l'on appelle le *Glacier de Léchaud*. Il reçoit à sa partie supérieure les neiges de la *Jorasse* et du *Mont Mallet*, et rejoint le glacier du Géant

au promontoire du mont Tacul. Les glaciers semblent




Esquisse indiquant les moraines *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, de la Mer de Glace.

soudés ensemble à leur point de rencontre, mais ils restent distincts. Entre eux on peut voir clairement une bande

de débris c; on voit en *a* une bande semblable, quoique plus petite, à partir de la jonction du glacier du Géant avec le *glacier des Périades* au pied de l'Aiguille Noire, et l'on peut aussi la suivre le long de la Mer de Glace.

Nous voyons encore, vers la gauche, un autre glacier, ou une partie de glacier, qui semble tomber en fragments détachés le long d'une gorge étroite (cascade du Talèfre); il rejoint le glacier de Léchaud, et, de leur point de jonction, une bande de débris *d* descend aussi le long de la Mer de Glace. Plus loin, nous remarquons encore une autre bande *e*, qui semble commencer au pied de la cascade de glace, et sortir, pour ainsi dire, du glacier lui-même. Enfin, plus loin encore, nous apercevons la moraine latérale de la Mer de Glace.

Ces bandes sont les *moraines médianes* de la Mer de Glace. Nous allons bientôt les étudier plus à fond.

Et maintenant que nous avons fait toutes ces observations, parcourons des yeux tout ce paysage grandiose, les pics fendus, les crêtes coupées et dentelées, les vastes champs de neige, les petits glaciers juchés sur les hauteurs, l'azur foncé du ciel et les nuages qui courent rapidement. Un tel spectacle ne mérite-t-il pas qu'on se donne quelque peine pour y arriver? Mais nous en jouissons mieux encore en songeant que ce n'est pas pour cela que nous sommes venus; nous sommes venus pour étudier le glacier, et le plaisir de la vue n'est qu'un incident de nos travaux. Telle est la loi de la vie : sans travail honnête, il ne saurait y avoir de jouissance profonde.

*Le Talèfre et le Jardin. — Les crevasses.* — Et maintenant, descendons à la mer de Glace, car je veux vous mener à travers le glacier jusqu'à cette cascade de glace dont nous n'avons pas encore vu l'origine. C'est vers l'ex-

trémité la plus éloignée du glacier que nous nous dirigeons, et, pour y arriver, nous avons à traverser ces bandes sombres de débris que nous observions tout à l'heure des hauteurs. Vues d'en haut, ces moraines semblent plates; mais, de près, on reconnaît que ce sont des lignes de pierres et de débris de vingt à trente pieds de haut.

Nous quittons la glace à un endroit qu'on appelle le *Couvercle*, et nous faisons le tour de ce promontoire, en montant tout le temps. Nous nous glissons par les *Égralets*, sorte d'escalier naturel dans le roc, et bientôt après nous nous trouvons en présence de la cascade de glace dont nous voulons découvrir l'origine. Ici la glace est toute brisée ; nous avons des pics et des tours, les unes droites, et d'autres penchées; nous pouvons même avoir la chance d'en voir quelques-unes s'écrouler, comme au Glacier des Bois. Il y a aussi des crevasses d'où sort une douce lueur bleuâtre. Laissant la cascade à droite, nous continuons à monter, jusqu'à ce qu'enfin nous dominions un vaste bassin de glacier, presque horizontal, et au milieu duquel se trouve une île solitaire, entièrement entourée de glace. Nous sommes sur le bord du *Glacier du Talèfre*, qui se rattache à la cascade de glace que nous avons dépassée. Le glacier est borné par des crêtes de rochers, coupées et dentelées au sommet, et flanquées d'amas de neige où les pierres qui tombent d'en haut ont tracé de profonds sillons.

Nous traversons le bassin pour gagner l'île centrale, et, en y abordant, nous trouvons de l'herbe et des fleurs. C'est là le célèbre *Jardin* dont on parle si souvent. La partie supérieure de ce jardin n'est qu'un rocher nu. Tout auprès s'élève *l'Aiguille-Verte*, un des plus beaux pics de

cette partie des Alpes. Elle a de treize à quatorze mille pieds de haut (environ 4000 mètres), et, toutes les fois qu'il a neigé, ses flancs sont sillonnés par des avalanches continuelles. De l'un de ses contreforts part une moraine qui descend le long du Talèfre ; du Jardin aussi part une moraine semblable à la première. Toutes deux se prolongent côte à côte jusqu'au haut de la cascade de glace, où elles vont se perdre dans les crevasses. Mais au pied de la chute elles reparaissent, comme si elles naissaient du glacier, et se prolongent ensuite le long de la Mer de Glace.

Suivons maintenant la moraine du Jardin en nous dirigeant vers la cascade de glace. D'abord la marche est assez facile, et les crevasses ne nous opposent pas d'obstacles sérieux. Mais bientôt elles deviennent de plus en plus larges et plus dangereuses, et finissent par se suivre de si près qu'elles ne sont plus séparées que par des murs de glace. C'est ici qu'il faut avoir le pied ferme, car un faux pas serait mortel. Dans la direction de la cascade, nous voyons augmenter le désordre de murailles, de blocs et de crevasses au-dessous de nous. Enfin la prudence et la raison nous commandent de nous arrêter. Nous pouvons prendre à droite ou à gauche, et, en suivant des crêtes de glace entre deux précipices, arriver à l'une des deux moraines latérales du glacier.

## CHAPITRE III

MOUVEMENT DES GLACIERS. — MESURES DE HUGI, D'AGASSIZ ET DE FORBES. — MESURES DE M. TYNDALL.

*Mouvement des glaciers.* — Mais qu'est-ce que ces moraines latérales? A mesure que l'on parcourt les glaciers, on comprend de mieux en mieux l'origine des moraines. De temps en temps, on voit des pierres et des débris rouler des flancs de la montagne et être arrêtés par la glace. Ces pierres et ces débris tombent tout le long du bord du glacier, et il devient bientôt évident que c'est là l'origine des moraines latérales.

Mais comment expliquer l'existence des moraines médianes? Comment les débris se disposent-ils sur une longue ligne à plusieurs centaines de mètres du bord, tandis que l'espace intermédiaire reste parfaitement net? On a quelquefois dit que ces pierres viennent du bord du glacier, et ont franchi une partie de sa largeur, mais cette hypothèse ne résiste pas à un examen sérieux. Rappelons-nous ici ce que nous avons dit de l'excès de neige qui tombe au-dessus de la ligne de neige, et la question que nous avons posée, que devient cet excès de neige? Se peut-il que la masse entière descende d'un mouvement

lent? Dans cette hypothèse, les moraines latérales seraient entraînées par la glace sur laquelle elles s'appuient, et, quand deux glaciers se joindraient latéralement, ils réuniraient leurs moraines adjacentes, ce qui formerait une moraine médiane sur le glacier principal.

En effet, il n'y a pas moyen d'expliquer ce que devient l'excédant de neige qui reste au-dessus de la ligne de neige; il n'y a pas moyen de remplacer la glace qui fond en excès au-dessous de cette même ligne; il n'y a pas moyen d'expliquer l'existence des moraines médianes du glacier, si l'on ne suppose que, depuis les plaines de neige les plus élevées du Col du Géant, du Léchaud et du Talèfre, jusqu'à l'extrémité inférieure du glacier des Bois, toute la masse congelée descend peu à peu.

J'aimerais à vous faire faire l'ascension du Mont-Blanc. Partant de Chamouni, nous traverserions d'abord des bois et des pâturages, puis nous gravirions une pente escarpée, avec le *Glacier des Bossons* à notre droite, pour gagner un rocher appelé la *Pierre Pointue;* de là nous irions à un rocher plus élevé nommé la *Pierre l'Échelle*, à cause de l'échelle qui s'y trouve ordinairement pour aider les voyageurs à traverser les crevasses du glacier. A la Pierre l'Échelle, nous nous engagerions sur la glace, et passant au-dessous de l'*Aiguille du Midi*, qui s'élève à gauche, et qui fait quelquefois pleuvoir des avalanches de pierres sur une partie du chemin, nous traverserions le glacier des Bossons, au milieu de fragments amoncelés, de tours de glace brisées, en franchissant des pentes escarpées et des crevasses si profondes qu'on ne peut en apercevoir le fond.

Nous arriverions ensuite aux rochers des *Grands Mulets*,



[illegible] Accord des oracles [illegible] s'appuient [illegible] ment, ils [illegible] différentes, ce qui [illegible] particulier [illegible]

[illegible] d'expliquer ce que [illegible] au-dessus de [illegible] la grâce [illegible] depuis le [illegible]

[illegible] de Mandelins [illegible] entièrement [illegible] en traversant [illegible]

[illegible] des cités Maltaise [illegible]



Fig. 1. — Crevasse du Grand-Plateau.



Fig. 2. — Crevasses courbes. — Le glacier marche de gauche à droite (page 106).


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
LYON
1892

qui forment une sorte d'ilôt stérile dans la mer de glace; de là, aux plaines de neige plus élevées, après avoir traversé le *Petit Plateau*, que nous trouverions encombré de blocs de glace. Il suffirait de regarder à droite pour voir d'où viennent ces blocs, car là s'élèvent menaçants au-dessus de nous les sommets de glace du *Dôme du Goûté*. Dans le pays, on les nomme *séracs*, parce que leur forme et leur couleur rappellent assez celles d'un fromage de Chamouni qui porte ce nom. Les guides recommandent d'observer le silence en cet endroit, et il vaut mieux le faire pour ne pas les désobliger, bien que l'on puisse douter que la voix humaine suffise pour faire tomber les blocs de glace. Du Petit Plateau, une pente escarpée et couverte de neige nous conduirait au *Grand Plateau*, et, au point du jour, je ne connais pas, dans toutes les Alpes, d'endroit plus solennel et plus imposant.

Un des buts de notre ascension serait alors atteint; car, au sommet du Grand Plateau, et au pied de la dernière pente du Mont-Blanc, je vous montrerais une grande crevasse dans laquelle trois guides furent précipités par une avalanche en 1820 (pl. V, fig. 1).

N'est-ce pas là une erreur? Une crevasse qu'il serait difficile de distinguer de la crevasse actuelle, existait assurément là en 1820. Mais était-ce bien la même que la crevasse actuelle? La glace fendue qui se trouve aujourd'hui en cet endroit est-elle la même que celle d'il y a cinquante-un ans? Assurément non. Et qu'est-ce qui le prouve? C'est le fait que, plus de quarante ans après leur disparition, les restes de ces trois guides ont été retrouvés près de l'extrémité du glacier des Bossons, à plusieurs milles au-dessous de la crevasse actuelle.

La même observation démontre que c'est la *glace du*

*fond* du névé supérieur qui devient la *glace de la surface* du glacier près de son extrémité. La fonte de la surface au dessous de la ligne de neige, amène de plus en plus au jour les parties inférieures de la glace.

Des signes nombreux prouvent la réalité du mouvement des glaciers, quoique ce mouvement soit trop lent pour frapper la vue tout d'abord. Les crevasses se déplacent, dans de certaines limites, d'année en année, et quelquefois d'un mois à l'autre; or, ceci ne pourrait arriver si la glace n'était en mouvement. On observe aussi des rochers et des pierres qui ont évidemment été arrachés des flancs de la montagne. Des blocs qu'on a vus tomber de certains points particuliers, se retrouvent ensuite à une certaine distance plus bas. Sur les moraines, on trouve des roches d'un caractère minéralogique tout à fait différent de celui des roches qui composent les montagnes à droite et à gauche; et toujours, dans ce cas, on retrouve plus haut, le long du glacier, des couches de même composition que ces roches. On peut donc en conclure que les bolders étrangers ont été apportés par la glace. En outre, les extrémités de plusieurs glaciers labourent le terrain devant elles, et renversent par leur action lente, mais impitoyable, les cabanes et les châlets qu'elles rencontrent. Des faits de ce genre sont depuis longtemps connus des habitants des hautes régions des Alpes, qui ont pu ainsi constater, d'une manière vague et générale, le mouvement des glaciers.

*Mesures de Hugi et d'Agassiz.* — Mais la science ne se contente pas d'indications vagues, elle cherche la précision; aussi voulut-on bientôt déterminer avec exactitude la vitesse de la marche des glaciers. Dans l'histoire de ces mesures, un glacier de l'Oberland bernois restera à

jamais mémorable. De la petite ville de *Meyringen*, en Suisse, on remonte la vallée de *Hasli*, au delà de la célèbre chute de *Handeck*, où l'Aar tombe dans un gouffre de plus de 200 pieds de profondeur. On s'approche de la passe de *Grimsel;* mais au lieu de s'y engager, on tourne à droite et l'on remonte le cours de l'Aar. Comme le Rhône et l'Arveiron, l'Aar sort d'un glacier.

Engagez-vous sur la glace, ou plutôt sur la moraine profonde qui la recouvre, et montez toujours. La marche est d'abord pénible; mais au bout de quelque temps vous laissez derrière vous tous ces débris, et vous arrivez à un large glacier que coupe une grande moraine médiane. Cette moraine est formée par la jonction de deux glaciers secondaires, le *Lauteraar* et le *Finsteraar*, qui se réunissent à un promontoire nommé l'*Abschwung* pour former le glacier principal de l'*Unteraar*.

Sur cette grande moraine médiane, en 1827, un professeur suisse intrépide et enthousiaste, *Hugi*, de Soleure, construisit une cabane pour faire des observations sur le glacier. Sa cabane marcha, et il en mesura le mouvement. En trois ans, de 1827 à 1830, elle descendit de 330 pieds (100 mètres). En 1836, elle avait avancé de 2354 pieds (716 mètres); et en 1841, M. Agassiz la trouva à 4712 pieds (1432 mètres) au-dessous de son point de départ.

En 1840, M. Agassiz et quelques hardis explorateurs se mirent à l'abri sous un grand rocher surplombant, sur la même moraine, après y avoir ajouté des parois latérales pour mieux se garantir. Comme ils étaient venus de Neufchâtel, la hutte fut longtemps appelée l'*Hôtel des Neuchâtelois*. Deux ans après, M. Agassiz constata que l'hôtel avait descendu de 486 pieds (148 mètres).

*Mesures exactes d'Agassiz et de Forbes.* — Nous approchons maintenant d'une époque importante dans l'histoire scientifique des glaciers. Si les premiers observateurs avaient eu l'habitude des instruments de précision dont on se sert pour l'arpentage, ils nous auraient probablement donné plus tôt des mesures *exactes* du mouvement des glaciers. Nous allons maintenant voir introduire presque à la fois ces instruments par M. Agassiz sur le glacier de l'Unteraar, et par M. Forbes sur la Mer de Glace. Déjà M. Escher de la Linth avait essayé de déterminer le mouvement d'une série de poteaux plantés dans le glacier d'*Aletsch;* mais la glace fondait si rapidement que les poteaux tombèrent bientôt. Pour obvier à cet inconvénient, en 1841, M. Agassiz fit porter à son *hôtel* des instruments de forage, et perça dans le glacier de l'Unteraar six trous différents, de dix pieds de profondeur, sur une ligne droite qui traversait le glacier. Dans ces trous on enfonça six poteaux, si solidement qu'ils restèrent debout une année entière; et, en 1842, on mesura le déplacement de chacun d'eux. Ils avaient avancé respectivement de 160 pieds (49 mètres), 225 pieds (68 mètres), 269 pieds (82 mètres), 245 pieds (74 mètres), 210 pieds (64 mètres) et 125 pieds (38 mètres).

C'est là un grand pas de fait. En effet, les nombres du milieu sont les plus forts; or, ils correspondent aux portions centrales du glacier. Donc ces mesures établissent d'une manière concluante, non-seulement le fait du mouvement des glaciers, mais encore celui-ci : *le milieu du glacier, comme celui d'une rivière, marche plus rapidement que les bords.*

Avec le concours d'ingénieurs expérimentés, M. Agassiz continua ces mesures les années suivantes. Ses recher-

ches sont consignées dans un ouvrage intitulé *Système glaciaire*, qu'accompagne un magnifique atlas du glacier de l'Unteraar, publié en 1847.

Ces déterminations furent faites à l'aide d'un théodolite, instrument dont nous parlerons bientôt plus en détail. La même année, le même instrument fut employé par M. Forbes sur la Mer de Glace. Il établit également la vitesse plus grande du mouvement du centre du glacier. Il fit voir, en outre, qu'il n'est pas nécessaire d'attendre une année, ou même une semaine pour déterminer le mouvement d'un glacier; avec un théodolite convenablement disposé, il réussit à déterminer jour par jour le mouvement de différents points de la Mer de Glace. Il affirmait, et avec raison, que l'on pouvait déterminer le mouvement du glacier heure par heure. Nous le prouverons plus loin. Forbes fit aussi la triangulation de la Mer de Glace, et en donna une excellente carte. Ses premières observations et ses travaux sur ce sujet sont contenus dans un livre célèbre, publié en 1843, et intitulé *Voyages dans les Alpes*.

Ces observations furent continuées les années suivantes, et les résultats en sont conservés dans une série de lettres détachées, et de mémoires fort intéressants. Plus tard, on a réuni tous ces travaux en un volume intitulé *Mémoires sur la théorie des glaciers*, qui a été publié en 1859. C'est à Agassiz et à Forbes que nous devons presque tout ce que nous savons sur les phénomènes des glaciers.

*Nos mesures.* — J'ai atteint le but que je m'étais proposé : j'ai prouvé le mouvement des glaciers, et j'ai fait l'histoire de la mesure de ce mouvement. Nous allons maintenant, par nos propres recherches sur la glace, tâ-

cher d'ajouter un peu à ce que l'on sait sur les glaciers. Il ne nous faudra manquer ni de résolution au début, ni de patience et de fermeté dans le cours de nos travaux. Prenons d'abord ce théodolite : ses pièces principales sont une lunette et un cercle gradué ; la lunette peut se mouvoir le long d'une tige verticale, et le cercle, qui entraîne la lunette dans son mouvement, tourne à droite et à gauche. Quand on veut rendre le mouvement presque insensible, on se sert de vis disposées convenablement, et nommées vis tangentes. L'instrument est porté sur trois pieds mobiles, que l'on peut fixer solidement sur le terrain.

Le cercle dont nous venons de parler porte deux niveaux à alcool placés à angle droit. Avec un peu d'habitude, il est toujours facile de prendre les pieds de l'instrument, et de les disposer de manière à rendre le cercle presque horizontal. Ensuite, au moyen de quatre vis calantes on le rend *parfaitement* horizontal. Sous le centre même de l'instrument se trouve un petit crochet auquel on suspend un fil à plomb. Si la pointe du petit poids vient toucher un rocher, on fait une marque au point de contact ; si le terrain est mou, on enfonce une petite tringle exactement sous le fil à plomb. Ainsi, en suspendant de nouveau le fil à plomb, on peut, à une époque quelconque, remettre l'instrument exactement dans sa position primitive.

Si l'on regarde dans la lunette, on voit qu'elle est traversée par deux fils d'araignée d'une finesse extrême, disposés en croix. Quand nous voulons nous servir de l'instrument, nous dirigeons d'abord la lunette à travers le glacier jusqu'à ce que le point d'intersection des deux fils couvre exactement une pointe de rocher bien reconnaissable, ou un certain arbre de l'autre côté de la vallée. Ce

sera là notre point de repère fixe; nous l'esquissons avec les objets voisins, dans un carnet, de manière à pouvoir le reconnaître immédiatement lorsque nous reviendrons au même endroit. Imaginez une ligne droite menée du centre de la lunette à ce point, et supposez que cette ligne se projette verticalement sur le glacier; c'est le long de cette ligne que nous avons maintenânt à disposer une série de poteaux.

Un aide exercé est déjà sur le glacier. Il dresse son piquet, et se tient derrière; nous abaissons la lunette sans la laisser dévier ni à droite ni à gauche, c'est-à-dire, en langage mathémathique, en la maintenant *dans le même plan vertical.* Les fils de la lunette viennent probablement correspondre à un point qui ne se trouve pas exactement sur la ligne du piquet tenu par l'aide; un mouvement du bras lui indique s'il doit se porter vers la droite ou la gauche; peut-être va-t-il trop loin, mais d'un signe nous le ramenons. Après un ou deux essais, l'aide voit s'il est près du point voulu, et alors il a soin de ne plus faire que de petits mouvements. Bientôt il trouve exactement le point que couvre l'intersection des fils de la lunette. Un signal l'avertit, et aussitôt il perce la glace avec une tarière, et enfonce un poteau. Il avance ensuite, et détermine un second point exactement de la même façon. Après avoir ainsi planté un ou deux poteaux, l'aide détermine très-rapidement les autres points. Nous pouvons donc disposer ainsi en ligne droite, en travers du glacier, un nombre quelconque de poteaux.

Le lendemain matin, nous mesurons la distance parcourue par tous les poteaux. Le théodolite est remis dans sa première position, et rendu parfaitement horizontal. Nous dirigeons d'abord la lunette vers le point de repère

qui se trouve de l'autre côté de la vallée, en nous servant de la vis tangente, jusqu'à ce que l'intersection des fils couvre exactement ce point. Nous descendons ensuite la lunette jusqu'au premier poteau, près duquel notre aide s'est déjà placé. Il s'est muni d'une règle divisée en pieds et en pouces. D'un coup d'œil nous voyons que le poteau s'est déplacé. Guidé par nos signaux, notre aide retrouve le point d'où nous sommes partis hier, et détermine alors la distance de ce point au poteau. Supposons que ce soit 6 pouces; c'est donc là la distance qu'a parcourue ce poteau.

Nous avons soin de noter le moment exact auquel nous plantons chaque poteau, et celui auquel nous mesurons la distance qui le sépare de sa première position; nous pouvons alors calculer exactement le mouvement journalier du point en question. Les distances parcourues par chacun des autres points se déterminent exactement de la même façon.

C'est ainsi que nous allons opérer; nous nous rendons d'abord bien nettement compte de ce que nous avons à faire, puis nous nous arrangeons de manière à le faire exactement. Pour ne rien laisser dans le vague, je vais citer ici les mesures qui ont été réellement exécutées sur la mer de Glace, en 1857, et les conclusions qu'on a pu en tirer. Nous supposerons, si vous le voulez, que nous faisons ces observations ensemble. C'est M. Hirst qui s'est chargé de prendre presque toutes les mesures.

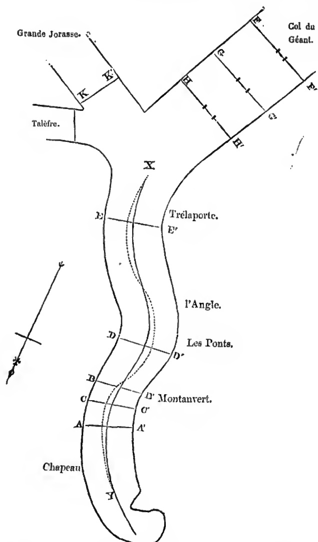
## CHAPITRE IV

MOUVEMENT DE LA MER DE GLACE. — VITESSE INÉGALE DE SES DEUX BORDS. — ANALOGIE ENTRE LA MARCHE DES GLACIERS ET CELLE DES RIVIÈRES. — NOUVELLE LOI DU MOUVEMENT DES GLACIERS.

*Mouvement de la mer de Glace.* — Le 14 juillet, nous nous trouvions à l'extrémité du Glacier des Bois, non loin de la source de l'Arveiron. Nous dirigeons notre lunette vers l'autre bord du glacier, et nous amenons l'intersection de ses fils exactement sur l'arête d'un pic de glace. Nous laissons l'instrument en place, regardant d'heure en heure par la lunette. L'arête de glace se meut lentement, mais d'une manière évidente, dans le champ de la lunette, et au bout de trois heures, nous nous assurons que le déplacement est de plusieurs pouces. Tandis que nous sommes près de l'arche de glace d'où sort l'Arveiron, et que nous parlons de nous y engager, elle cède et s'écroule avec le fracas du tonnerre. Ce n'est donc pas sans raison que j'ai conseillé de ne pas pénétrer sous la voûte en été.

Nous montons jusqu'à l'auberge du Montanvert, où nous établissons notre quartier général, puis nous descendons sur la moraine latérale du glacier, un peu au-dessous de l'auberge. Là, nous établissons notre théodolite et nous

en marquons la position exacte à l'aide du fil à plomb. Il




Esquisse indiquant les lignes mesurées sur la Mer de Glace et ses affluents.

faut d'abord trouver une ligne sensiblement perpendiculaire à l'axe du glacier. Notre aide, homme habitué à ces opérations, pose par terre une longue perche dans la direction de l'axe, et s'assure, en regardant dans les deux sens, qu'elle est bien dans la direction voulue. Tenant ensuite à la main une seconde perche, dont il dirige l'extrémité vers notre théodolite, il change de position jusqu'à ce que la seconde perche soit perpendiculaire à la première. Alors il nous fait un signal. Nous dirigeons notre lunette sur lui, puis l'élevant peu à peu dans le plan vertical, nous trouvons et nous esquissons un point de repère de l'autre côté du glacier. Ce point une fois connu, ainsi que celui qui correspond à notre fil à plomb, nous pourrons toujours, quand nous le voudrons, retrouver notre ligne.

Le long de cette ligne, dix poteaux furent plantés le 17 juillet 1857. Le lendemain, nous mesurâmes leur déplacement. Deux étaient tombés, et voici les distances parcourues en vingt-quatre heures par les huit poteaux restants.

MOUVEMENT JOURNALIER DE LA MER DE GLACE.

*Ligne AA'.*

| | Est. | | | | | | | Ouest. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau nº | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| Pouces | 12 | 17 | 23 | 26 | 25 | 26 | 27 | 33 |

On sait déjà par expérience que la substance du glacier est bien de la glace, et l'on a peut-être lu que les glaciers se meuvent ; mais il y a un intérêt étrange à observer en réalité le mouvement d'une masse en apparence si inerte. Et non-seulement l'ensemble du glacier se meut, mais une de ses parties dépasse l'autre; la vitesse du mouvement augmente par degrés de 12 pouces (30 centim.) par jour sur

un des bords, à 33 pouces (82 centim.) par jour à une certaine distance du bord. Ce mouvement plus rapide de la partie centrale des glaciers, avait déjà été constaté par Agassiz et Forbes; nous vérifions leurs résultats, et passons ensuite à quelque chose de nouveau. Traversant le Glacier du Géant, qui occupe plus de la moitié de la vallée, nous voyons que notre ligne de poteaux ne se termine pas là : le 10e poteau est sur la partie de la glace qui vient du Talèfre.

Or, le mouvement des côtés est ralenti par le frottement de la glace contre ses bords; mais alors il semblerait qu'à moitié chemin entre les deux bords, là où il y a le moins de frottement latéral, le mouvement doit être le plus rapide. C'est ce qui n'a pas lieu; car, quoique le 10e poteau soit plus près que le 9e du côté est de la vallée, ce 10e poteau fait chaque jour 6 pouces (15 centim.) de plus que le 9e.

Voilà matière à réflexion; mais pour réfléchir à l'aise, un philosophe a besoin d'être tout à fait sûr de ses faits. La ligne précédente traversait le glacier un peu au-dessous du Montanvert; nous allons mener une autre ligne un peu au-dessus de l'hôtel. Le 18 juillet, nous traçons cette ligne, et, pour augmenter nos chances de découverte, nous y plantons 31 poteaux. Le lendemain, cinq de ces poteaux se trouvent hors de service; mais voici les distances parcourues en 24 heures par les 26 autres :

*Ligne BB′.*

| | Ouest. | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau nº | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Pouces | 8 | 11 | 12 | 15 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 20 | 21 | 21 |
| Poteau nº | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| Pouces | 21 | 23 | 23 | 23 | 21 | 23 | 21 | 25 | 22 | 22 | 23 | 25 | 26 |
| | | | | | | | | | | | | | Est |

Examinons ces nombres. Le premier fait qui nous

frappe, c'est que la vitesse va en croissant du premier au dernier. Il y a cependant de légères irrégularités : de 23 pouces pour le 17ᵉ poteau, nous redescendons à 21 pour le 18ᵉ; de 23 pouces pour le 19ᵉ, nous retombons à 21 pour le 20ᵉ poteau ; de 25 pouces pour le 21ᵉ poteau, nous retombons à 22 pour le 22ᵉ et le 23ᵉ ; mais malgré ces légères oscillations, il est clair que la vitesse va généralement en croissant de l'ouest à l'est. Or, la fonte de la glace a pu amener un petit déplacement de quelques poteaux, ce qui suffirait pour expliquer les légères irrégularités que nous venons de signaler. D'ailleurs ce n'est pas là la seule explication possible. Nous reconnaîtrons bientôt que le glacier n'est pas retardé seulement par ses bords, mais aussi par son lit; que les couches supérieures de glace glissent sur les couches inférieures. Or, si dans le lit de la Mer de Glace il se trouvait çà et là des éminences assez voisines de la surface pour retarder le mouvement de cette surface, elles pourraient amener les légères irrégularités que nous avons reconnues.

Nous remarquons particulièrement, tandis que nous sommes sur la glace, que le 26ᵉ poteau, comme le 10ᵉ de la ligne précédente, est bien plus près du bord est que du bord ouest du glacier; nos mesures prouvent donc encore une fois que le centre de cette partie du glacier *n'est pas* le lieu du mouvement le plus rapide.

*Mouvement inégal des deux bords de la Mer de Glace.* — Mais ni dans l'une ni dans l'autre des deux opérations qui précèdent nous n'avous pu étendre nos mesures à toute la largeur du glacier. Pourquoi? En essayant une chose, nous en apprenons souvent une autre; et c'est ainsi que, dans la science, si nous voulons seulement persévérer attentivement, nos échecs mêmes servent à nous

instruire. Nous avons d'abord établi notre théodolite sur la moraine latérale de la Mer de Glace, espérant pouvoir de là voir d'un bord du glacier à l'autre. Mais nous reconnaissons alors notre erreur : le centre du glacier se trouve être plus haut que ses bords, et, dans nos deux dernières positions, la glace du bord opposé nous a été cachée par l'élévation du centre. En effet, les flancs de la montagne s'échauffent en été, et ils fondent la glace qui les touche, ce qui détermine un abaissement en allant du centre vers les bords.

Mais sur les hauteurs de l'autre côté du glacier, nous apercevons une position convenable pour notre théodolite. Nous traversons le glacier, et nous plaçons notre instrument de manière à voir le glacier d'un bord à l'autre. De nos deux lignes, la première était au-dessous du Montanvert, la seconde au-dessus; notre nouvelle ligne sera juste en face du Montanvert : en effet, le point de repère que nous choisissons est le coin d'une des fenêtres de la petite auberge. Sur cette ligne, nous plantons douze poteaux, le 20 juillet. Le 21, l'un d'eux est tombé; mais voici la distance parcourue en 24 heures par chacun des onze autres :

*Ligne CC'.*

| | Est. | | | | | | | | | | Ouest. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Pouces | 20 | 23 | 29 | 30 | 34 | 28 | 25 | 25 | 25 | 18 | 9 |

Le premier poteau et le dernier de cette série étaient tous deux près des bords du glacier ; sur le bord oriental, la vitesse est de 20 pouces, tandis que sur le bord occidental elle n'est que de 9. Du côté est, elle croît de 20 à 34 pouces, vitesse du 5e poteau, lequel est bien plus près

du bord oriental que de l'autre. *Les mesures données par ces trois lignes prouvent, à n'en pas douter, qu'en face du Montanvert et à quelque distance au-dessus et au-dessous, tout le côté oriental du glacier marche plus vite que le côté occidental.*

*Analogie entre la marche des glaciers et celle des rivières.* — Ce résultat doit nous faire réfléchir, car les faits sont presque sans valeur, s'ils n'amènent cet exercice de l'intelligence. C'est parce que, dans la nature, les faits ne sont pas isolés, mais s'enchaînent, que la science, pour les suivre, doit former aussi un tout bien uni. L'esprit du physicien doit présenter, en quelque sorte, un tissu de pensée dont tous les fils correspondent au tissu de faits qu'offre la nature.

Montons donc sur un point d'où l'on voie bien cette partie de la Mer de Glace. Nous voyons alors que la rivière de glace suit, non une ligne droite, mais une courbe dont la convexité est à l'est et la concavité à l'ouest (voir l'esquisse). Nous l'avons déjà dit : le mouvement d'un glacier est, à certains égards, semblable à celui d'une rivière. Comment se meut une rivière dans un chenal recourbé ? C'est ce que nous savons fort bien. Si la surface de la Mer de Glace était emportée par de l'eau en mouvement, le lieu de la plus grande vitesse au Montanvert serait, non le centre, mais un point à l'est du centre. Se peut-il donc que cette roche d'eau, comme on appelle quelquefois la glace, se comporte, à cet égard aussi, comme l'eau elle-même ?

C'est là une pensée qui nous vient sur le champ ; elle peut être fondée ou non, mais nous avons sous la main les moyens d'en juger. En regardant vers le haut du glacier, nous voyons qu'aux *Ponts* il se recourbe aussi ; seu-

lement là, sa convexité est tournée vers le côté occidental de la vallée (voir l'esquisse). Si nous avons raison, le point de plus grande vitesse en face des *Ponts*, doit se trouver à l'ouest de l'axe du glacier.

Vérifions cette conjecture. Le 25 juillet, nous plantons sur cette partie du glacier une ligne de 17 poteaux ; le lendemain, pas un seul n'est tombé, et nous trouvons pour la vitesse par 24 heures les chiffres suivants :

*Ligne DD'.*

| | Est. | | | | | | | | | | | | | | Ouest. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Pouces | 7 | 8 | 13 | 15 | 16 | 19 | 20 | 21 | 21 | 23 | 23 | 21 | 22 | 17 | 15 |

On reconnaît parfaitement à l'œil nu que les poteaux 10 et 11, où le glacier a sa plus grande vitesse, sont assez loin à l'ouest de l'axe du glacier. Ainsi se vérifie parfaitement la conjecture qui nous a conduits à faire ces dernières mesures. Il faut remarquer, d'ailleurs, que les conjectures de la science ne sont pas l'œuvre du hasard, mais bien celle d'un examen attentif des faits précédents. Une telle conjecture est une induction de faits, soumise à l'épreuve de l'expérience.

Et quoique nous ayons déjà de très-fortes raisons de croire que le point de vitesse maximum du glacier suit les lois du mouvement des liquides, la force de notre conclusion sera bien plus grande, si nous pouvons faire voir que ce point repasse à l'est de l'axe du glacier, lors d'une autre inflexion de sa courbe. Nous trouvons heureusement une inflexion de ce genre en face de Trélaporte ; ici la convexité de la vallée est de nouveau tournée vers l'est. Le 28 juillet, nous menons une ligne à travers cette partie du glacier, et les mesures effectuées le 31 nous donnent

les chiffres suivants pour la vitesse du mouvement par 24 heures :

*Ligne EE'.*

| | Ouest. | | | | | | | | | | | | | | Est. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15. |
| Pouces | 11 | 14 | 13 | 15 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 19 | 20 | 18 | 16 | 15 | 10. |

Ici encore, la seule inspection à l'œil nu suffirait à montrer que les trois poteaux qui ont marché le plus vite, c'est-à-dire le 9ᵉ, le 10ᵉ et le 11ᵉ, sont tous à l'est de la ligne moyenne du glacier. Nous pourrions donc peut-être dire qu'il est complétement démontré que le point de plus grande vitesse passe d'un côté à l'autre de l'axe du glacier, selon que la courbure de la vallée change de direction.

Mais cela ne suffit pas encore : si nous avons des moyens plus sûrs, nous ne devons pas nous contenter d'en juger par nos yeux. Nous avons avec nous une chaîne d'arpenteur ; servons-nous en pour mesurer ces lignes, en notant la distance de chaque poteau au bord du glacier. Ce travail n'est pas facile, au milieu des crevasses, mais M. Hirst s'en tirera, j'en suis sûr. Nous pourrons ensuite comparer un certain nombre de poteaux du bord oriental avec le même nombre de poteaux pris aux mêmes distances du bord occidental. Nous prendrons, par exemple, deux poteaux, l'un à dix mètres du bord oriental, et l'autre à dix mètres du bord occidental ; puis deux autres, chacun à cinquante mètres d'un des bords, et ainsi de suite. Pour plus de simplicité, nous appellerons *points équivalents* les points comparés ainsi deux à deux.

Notre quatrième ligne, D D', contient cinq couples de ces points, dont voici les vitesses :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Bord oriental ; vitesse en pouces | 13 | 15 | 16 | 18 | 20 |
| Bord occidental, » » | 15 | 17 | 22 | 23 | 23 |

Dans tous les cas, le poteau de l'ouest a marché plus rapidement que le poteau équivalent de l'est.

Appliquant la même analyse à notre cinquième ligne, EE′, nous trouvons, avec trois couples de points équivalents, les vitesses suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bord oriental ; vitesse en pouces | 15 | 18 | 17 |
| Bord occidental, » » | 13 | 15 | 19 |

Ici, les trois points du côté oriental se meuvent avec plus de rapidité que les points équivalents du côté occidental.

Il est donc démontré :

1° Qu'à la hauteur du Montanvert la moitié orientale de la Mer de Glace a un mouvement plus rapide que la moitié occidentale.

2° Qu'à la hauteur des Ponts, la moitié occidentale du glacier a un mouvement plus rapide que la moitié orientale.

3° Qu'à la hauteur de Trélaporte, la moitié orientale du glacier a repris un mouvement plus rapide que la moitié occidentale.

4° Que ces changements dans le lieu de la plus grande vitesse dépendent des changements de courbure de la vallée que parcourt la Mer de Glace.

*Nouvelle loi du mouvement des glaciers.* — Exprimons ces faits d'une autre manière. Supposons déterminés les points de plus grande vitesse d'un très-grand nombre de lignes à travers la Mer de Glace ; la ligne joignant tous ces points sera ce qu'on appellerait en mathématiques *le lieu* des points de plus grande vitesse.

A Trélaporte, cette ligne serait à l'est de l'axe ; aux Ponts, elle serait à l'ouest; donc, en passant de Trélaporte aux Ponts, elle doit couper l'axe. Mais au Montanvert, elle se retrouverait à l'est de l'axe ; donc entre les Ponts et le Montanvert, l'axe doit être coupé une seconde fois. S'il y avait d'autres sinuosités sur la Mer de Glace, l'axe du glacier serait coupé un plus grand nombre de fois.

Les points de l'axe qui marquent le passage de la courbure orientale à la courbure occidentale, et réciproquement, peuvent s'appeler *points de flexion inverse*.

Or, ce qui est vrai de la Mer de Glace, l'est aussi de tous les autres glaciers qui se meuvent dans des vallées sinueuses, de sorte que tous les faits établis pour la Mer de Glace, peuvent s'énoncer ainsi, comme loi générale du mouvement des glaciers :

Quand un glacier parcourt une vallée sinueuse, le lieu des points de plus grande vitesse ne coïncide pas avec l'axe du glacier, mais, au contraire, se trouve toujours du côté de la convexité de la ligne centrale. Ce lieu est donc une ligne courbe à sinuosités plus profondes que celles de la vallée, et coupant l'axe du glacier à chaque changement de courbure.

La ligne pointillée de l'esquisse du glacier représente le lieu des points de plus grande vitesse; la ligne pleine est la ligne centrale du glacier.

Si l'on remplaçait le mot *glacier* par le mot *cours d'eau*, cette loi serait également vraie. Le mouvement de l'eau obéit exactement aux mêmes lois que celui de la glace.

Servons-nous maintenant de cette loi pour éclaircir une difficulté. Si nous nous reportons aux mesures prises avec tant de soin par M. Agassiz sur le glacier de l'Unteraar, nous remarquerons dans la discussion de ces mesures

une section du *Système glaciaire* consacrée aux *migrations du centre*. On y constate que le centre du glacier de l'Unteraar n'est pas toujours le point de plus grande vitesse. Ce fait était resté inexpliqué jusqu'ici ; mais il suffit de jeter un coup d'œil sur la vallée de l'Unteraar, ou sur une carte de cette vallée, pour voir qu'il n'y a là qu'une conséquence de la loi que nous venons de reconnaître pour la Mer de Glace.

# CHAPITRE V

MOUVEMENT DE L'AXE DE LA MER DE GLACE ET DE SES TRIBUTAIRES. — COMPRESSION LATÉRALE ET LONGITUDINALE D'UN GLACIER. — GLISSEMENT.

*Mouvement de l'axe de la Mer de Glace.* — Nous avons donc mesuré la vitesse du mouvement de cinq différentes lignes traversant la Mer de Glace. Cette vitesse est-elle la même pour toutes ? Nullement. Comme une rivière, un glacier ne marche pas avec la même vitesse sur tous les points de son cours. Comparons les vitesses maxima des différentes lignes, et nous obtenons le tableau suivant :

MOUVEMENT DE LA MER DE GLACE.

| | | | |
|---|---|---|---|
| A Trélaporte. . . . . . . . | 20 pouces | (50 centim.) | par jour. |
| Aux Ponts. . . . . . . . . | 23 » | (57 » ) | » |
| Au-dessus de Montanvert. . | 26 » | (65 » ) | » |
| Au Montanvert. . . . . . . | 34 » | (85 » ) | » |
| Au-dessous du Montanvert. | 33 [1] » | (82 » ) | » |

Ainsi la vitesse croît à mesure que nous descendons le glacier, de Trélaporte au Montanvert ; là plus grande vitesse au Montanvert surpasse de **14** pouces (35 centim.) celle que l'on observe à Trélaporte.

1. Ce dernier chiffre est probablement trop faible. Je crois qu'il est probable que la plus grande vitesse de cette partie de la Mer de Glace était, en 1857, de 36 pouces (90 centim.) par vingt-quatre heures.

*Mouvement des glaciers tributaires.* — Voilà pour le glacier principal ; étudions maintenant ses embranchements, en faisant servir les faits acquis à faciliter la recherche de faits nouveaux.

Lorsque nous étions à la station de *la Fente*, d'où nous voyions si bien la Mer de Glace, nous avons été frappés du fait que quelques-uns des tributaires ou affluents de ce glacier étaient plus larges que le glacier lui-même. Supposons un instant que la glace fût remplacée par de l'eau; qu'arriverait-il dans ce cas? On penserait naturellement que, dans les vallées larges et peu rapides du Géant et du Léchaud, le courant devrait être relativement lent, mais que l'eau s'élancerait avec une vitesse croissante par la vallée rétrécie de Trélaporte. Voyons s'il en est de même pour la glace.

Plantant notre théodolite à l'ombre du mont Tacul, et choisissant un point de repère convenable du côté opposé du glacier du Géant, le 29 juillet, nous établissons une ligne de dix poteaux à travers le glacier. Voici le mouvement de cette ligne en vingt-quatre heures :

MOUVEMENT DU GLACIER DU GÉANT.

*Ligne HH'.*

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau nº | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10. |
| Pouces | 11 | 10 | 12 | 13 | 12 | 13 | 11 | 10 | 9 | 5. |

Notre conjecture se vérifie pleinement. La vitesse maximum est ici inférieure de sept pouces par jour à celle de la Mer de Glace à Trélaporte (p. 77).

Passons à l'embranchement de Léchaud. Le 1er août, nous établissons une ligne de dix poteaux en travers du glacier, au-dessus de sa jonction avec le Talèfre. Le mou-

vement mesuré le 3 août, nous donne pour 24 heures les vitesses suivantes :

MOUVEMENT DU GLACIER DE LÉCHAUD.

*Ligne KK'.*

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10. |
| Pouces | 5 | 8 | 10 | 9 | 9 | 8 | 6 | 9 | 7 | 6. |

Ici notre conjecture se vérifie mieux encore, et la vitesse est même moindre que celle du glacier du Géant.

*Mouvement du haut et du bas du glacier.* — Il est donc bien prouvé que les bords d'un glacier, comme ceux d'une rivière, sont retardés dans leur marche par le frottement contre les rives. Mais la ressemblance ne s'arrête pas là. Le mouvement d'une rivière est retardé aussi par le frottement contre le fond. Deux observateurs, MM. Forbes et Charles Martins, s'accordent à dire qu'il en est de même pour un glacier. Mais leurs observations ont trouvé des contradicteurs ; nous n'en sommes que plus tenus de chercher des preuves décisives à cet égard.

Au mont Tacul (près du point *a* du plan, p. 81) un mur de glace d'environ 150 pieds de haut a déjà attiré notre attention. Se courbant pour rejoindre le Léchaud, le glacier du Géant s'écarte ici du flanc de la montagne, et nous présente une section de son épaisseur. Nous tentons d'en mesurer le mouvement au haut, au bas et au milieu, et nous échouons deux fois de suite. Une troisième tentative est couronnée de succès. Nous fixons un poteau au sommet du précipice de glace, un second à 4 pieds du fond, et un troisième à 35 pieds (11 mètres) du fond. Pour enfoncer ces deux derniers, nous nous exposons à recevoir des boulders qui roulent d'en haut ; mais à force d'adresse et de prudence, nous réussissons à mesurer le mouvement des trois poteaux. Voici leur vitesse par vingt-quatre heures :

| | | |
|---|---|---|
| Poteau supérieur. . . . . . . . . . . . | 6 | pouces. |
| » du milieu . . . . . . . . . . . . | 4 1/2 | » |
| » inférieur. . . . . . . . . . . . | 2 2/3 | » |

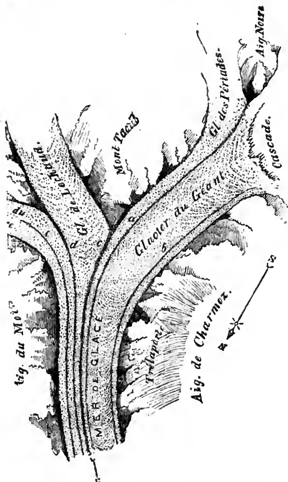
Ces mesures montrent d'une manière évidente le ralentissement dû à l'action du fond. Le bas du glacier n'a pas la moitié de la vitesse de la surface.

*Compression latérale d'un glacier.* — Munis des connaissances que nous ont données ces travaux et ces mesures, retournons à notre station de *la Fente*, au pied de l'*Aiguille de Charmoz*. Lors de notre première visite, nous avons vu les moraines médianes du glacier, mais nous ne savions d'où elles provenaient. Nous savons maintenant qu'elles marquent la séparation entre le glacier principal et ses affluents. Considérons donc d'abord le glacier du Géant; rendons-nous compte de sa largeur tant qu'il est seul dans la vallée, et voyons combien cette largeur est moindre à Trélaporte. Le large courant de glace du Léchaud est encore plus surprenant, car, sur la Mer de Glace, il est réduit à une bande blanche étroite, entre deux moraines. Le Talèfre subit une compression semblable. Descendons maintenant, armés de notre chaîne d'arpenteur, et mesurons la largeur des affluents, et la compression qu'ils subissent à Trélaporte.

Voici les résultats obtenus :

| | LARGEUR. | |
|---|---|---|
| | YARDS. | MÈTRES. |
| Glacier du Géant. . . . . . . . . . | 1134 | 1036 |
| » de Léchaud. . . . . . . . . | 825 | 754 |
| » de Talèfre . . . . . . . . . | 638 | 583 |
| Total. . . . . . . . . . | 2597 | 2373 |

A Trélaporte, ces trois glaciers sont forcés à passer par une gorge de 893 yards (816 mètres), ce qui n'est qu'un



Esquisse indiquant les moraines de la Mer de Glace.

tiers de leur largeur primitive, avec une vitesse de 20 pouces (50 centimètres) par jour.

Si nous nous bornons au glacier de Léchaud, les résultats sont encore plus étonnants. Avant sa jonction avec le Talèfre, ce glacier a une largeur de 825 yards (754 mètres); en passant par l'étau de granit de Trélaporte, cette largeur se réduit à 88 yards (80 mètres), c'est-à dire, en nombres ronds, à un dixième de sa largeur primitive.

Devons-nous conclure de là que la glace du Léchaud est réduite au dixième de son volume primitif? Pas le moins du monde : ce n'est qu'un changement de forme, et non de volume, qui s'accomplit à Trélaporte. Avant d'être ainsi comprimé, le glacier ressemble à une plaque de glace posée *à plat;* après sa compression, c'est une plaque posée *de champ*. La pression a nécessairement rendu la glace plus profonde.

*Compression longitudinale d'un glacier.* — C'est une pression postérieure qui force la glace à pénétrer dans la gorge de Trélaporte; en effet, le glacier du Géant, immédiatement au-dessus de Trélaporte, joue le rôle d'un piston qui pousse la glace dans la gorge. Quel effet cette pression doit-elle avoir sur le piston lui-même? Il suffit du raisonnement pour conclure, avec assez de probabilité, que la pression doit raccourcir le piston; que la partie inférieure du glacier du Géant doit, jusqu'à un certain point, céder à la pression des couches postérieures.

Voyons si les faits confirment cette idée. A environ trois quarts de mille plus haut que le mont Tacul, et sur le versant qui se trouve à notre gauche, en montant, nous observons un petit carré de verdure. Nous y grimpons, nous établissons notre théodolite, et nous dirigeons à travers le glacier du Géant une ligne FF′, que nous appellerons le nº 1. (Voir l'esquisse, p. 66.)

Environ un quart de mille plus bas, nous trouvons un couloir praticable sur le flanc de la montagne; nous le gravissons, nous arrivons à une plate-forme convenable, nous établissons notre instrument et nous traçons une ligne GG′ (p. 66), que nous marquons du nº 2. Ici nous sommes obligés de nous presser, car le long de ce couloir roulent des pierres venues d'un petit glacier qui s'appuie sur le flanc du mont Tacul.

Un quart de mille plus bas, et plus près du Tacul, nous menons à travers le glacier la ligne HH′, nº 3.

Voici le mouvement journalier des centres de ces trois lignes :

| | Pouces. | Distance d'une ligne à l'autre. |
|---|---|---|
| Nº 1. . . . . . . . . . | 20.55 | . . . . . . . . . . 545 yards. |
| Nº 2. . . . . . . . . . | 15.43 | . . . . . . . . . . 487 » |
| Nº 3. . . . . . . . . . | 12.75 | |

Ainsi la première ligne fait, par jour, cinq pouces de plus que la seconde; et la seconde, près de trois pouces de plus que la troisième. Notre conjecture se trouve donc vérifiée. Le piston de glace dont nous pouvons évaluer la longueur, en nombres ronds, à mille yards (914 mètres), se trouve raccourci, par la pression qu'il subit dans le sens de sa longueur, d'environ huit pouces (20 centimètres) par jour.

Une rivière qui descendrait la vallée du Géant se comporterait de la même façon. Son mouvement diminuerait en approchant de Trélaporte, et elle s'élancerait dans le défilé avec une vitesse plus grande que celle de l'eau qui serait par derrière.

*Glissement des glaciers.* — Jusqu'ici, nous nous sommes bornés à mesurer et à discuter le mouvement des glaciers; mais nos excursions nous ont appris encore bien d'autres choses. Çà et là, quand la glace s'écartait du flanc

de la montagne, nous avons vu les rochers cannelés, rayés et polis, ce qui prouve que la glace a glissé sur ces rochers et les a usés. A la source de l'Arveiron, nous avons remarqué que l'eau qui sort du glacier est chargée de substances à l'état de poudre fine. Toutes les eaux de glacier entraînent de ces substances. Le Rhône emporte les matières qu'il charrie dans le lac de Genève; là, le courant se ralentit, les matières se déposent, et le Rhône n'a plus que des eaux bleues et limpides au sortir du lac. Le lac de Genève, et plusieurs autres lacs de la Suisse, se remplissent peu à peu de ces dépôts, qui finiront probablement par les combler tout-à-fait.

Une partie du mouvement d'un glacier vient de ce glissement de la masse entière sur son lit.

En parcourant le glacier, nous avons vu des ruisseaux formés par la fonte de la glace, arriver par des fentes et des crevasses jusqu'au lit du glacier. Les poussières fines produites par le frottement se trouvent ainsi entraînées, le fond se trouve lubréfié, et le glissement de la glace en devient plus facile.

Quand on a patiné, on sait combien le dégel affaiblit la glace. Avant de fondre, elle devient molle et dangereuse. Sondez cette glace avec un canif : la lame s'y enfoncera, ou la coupera facilement. Sondez de même la glace que n'a point attaquée le dégel; vous la trouverez bien plus résistante. L'une ressemble à de la craie molle, l'autre à la pierre dure.

Or, en été, la Mer de Glace est ainsi soumise à l'action du dégel. Le soleil en rend la glace molle et peu résistante, ce qui en facilite le mouvement. Nous avons vu que, non seulement le glacier glisse sur son lit, mais aussi les couches supérieures glissent sur les couches inférieures, et

que celles du centre glissent le long de celles des bords. Plus la glace est molle et sans consistance, plus ce mouvement sera facile, et moins aussi il sera difficile de forcer le glacier à passer par une gorge comme celle de Trélaporte.

Mais en hiver le dégel cesse; la quantité d'eau qui arrive au lit du glacier est diminuée ou entièrement nulle. La glace aussi devient dure, au moins jusqu'à une certaine profondeur. Ces considérations nous permettent de supposer qu'en hiver le glacier, s'il se meut, doit le faire bien plus lentement qu'en été. Quoi qu'il en soit, les mesures prises pendant l'été ne donnent aucune indication sur le mouvement de l'hiver.

Ce point vaut la peine qu'on l'examine. Cependant je ne vous demanderai pas de visiter les Alpes au milieu de l'hiver; mais, si vous me le permettez, j'irai pour vous dans les montagnes, et je vous rendrai un compte fidèle de l'aspect de ces régions et des mouvements de la Glace.

# CHAPITRE VI

LA MER DE GLACE PENDANT L'HIVER. — MOUVEMENT DES GLACIERS DE GRINDELWALD, D'ALETSCH ET DE MORTERATSCH.

*La Mer de Glace pendant l'hiver.* — L'hiver est cette fois rigoureux. Il y a de la neige à Londres, de la neige à Paris, de la neige à Genève ; près de Chamouni, la neige est si profonde que les barrières qui bordent les routes ont entièrement disparu. Dans la nuit de Noël, à près de minuit, en 1859, j'arrive à Chamouni.

Le 26 Décembre, la neige tombe en abondance; mais le 27, la tempête se calme un peu, et nous partons. J'emmène avec moi quatre bons guides et un porteur. Ils attachent des planchettes sous leurs chaussures, pour ne pas enfoncer dans la neige; je néglige cette précaution, et souvent j'enfonce jusqu'à la ceinture. Quatre ou cinq fois pendant notre ascension, la neige se fend avec un bruit de tonnerre, et menace de descendre en avalanches [1].

1. Quatre ans après, au printemps de 1863, un excellent guide, un de mes courageux compagnons, nommé Johann-Joseph Bennen, s'est perdu sur une de ces pentes, englouti par la neige qui s'était fendue et avait ensuite glissé le long de la pente.

La neige récemment tombée était dans cet état particulier qui la fait adhérer à tout ce qu'elle touche; aussi tous les flocons qui étaient tombés sur les arbres y étaient-ils restés. Les pins ainsi chargés présentaient des formes belles et souvent fantastiques.

Après cinq heures et demie d'une marche laborieuse, nous arrivons enfin au Montanvert. Nous ouvrons l'au-



Pin couvert de neige.

berge abandonnée, autour de laquelle la neige était amoncelée. J'ai déjà parlé des effets produits par les forces de cristallisation. Les figures tracées par la gelée sur les vitres de l'auberge étaient merveilleuses : c'étaient surtout des arbustes et des feuillages produits par la lutte entre la force ordinatrice et l'adhésion qui existait entre la cou-

che liquide et le verre. L'aspect du glacier était imposant, et le silence absolu. Les cascades qui, en été, remplissent l'air de leur harmonie, étaient muettes, et pendaient au bord des rochers, en colonnes de glace cannelées. La surface du glacier était évidemment plus élevée qu'en été, ce qui faisait penser que, tandis que le froid de l'hiver maintenait immobile dans ses limites l'extrémité inférieure du glacier, les parties supérieures descendaient toujours et augmentaient l'épaisseur de la glace. Le pic de l'Aiguille du Dru était couronné d'un panache de nuages, dont nous avons déjà expliqué l'origine et la nature. (Voir le frontispice.)

Le 28 au matin, ce panache était tout à fait grand et mposant, et, empourpré par la lumière du soleil levant, il brillait comme une flamme. Des roses de nuages entouraient aussi les crêtes de la Grande-Jorasse, et pendaient aux pics de Charmoz. Quatre hommes, bien attachés ensemble avec des cordes, descendirent sur le glacier. L'un d'eux, exercé par moi à ce travail en 1857, devait enfoncer les poteaux. La tempête avait chassé la neige devant elle, laissant certaines parties du glacier découvertes et recouvrant les autres. Sur les points où la neige s'était entassée, il ne fallait avancer qu'avec la plus grande précaution, parce que dessous se trouvaient souvent des crevasses. Mes hommes sondaient à chaque pas avec leurs bâtons. A un moment, tandis que je suivais la petite troupe avec ma lunette, je vis tout-à-coup disparaître celui qui marchait en tête : la neige qui recouvrait une crevasse avait cédé sous ses pas; mais ses compagnons accoururent promptement, et le retirèrent de l'ouverture. La ligne fut bientôt tracée à l'aide du théodolite, et les poteaux plantés un à un, au nombre de onze.

Il ne fallait pas songer à remonter la vallée plus haut, la neige était trop profonde et le temps trop menaçant; nous plantâmes donc le théodolite au milieu des pins, un peu au-dessous du Montanvert, et de là, par une éclaircie, je pus voir jusqu'à l'autre bord du glacier. De temps en temps, mes compagnons étaient enveloppés de tourbillons de neige qui les cachaient entièrement à mes yeux; il fallait donc profiter des moments où le vent se calmait un peu. Il remontait la vallée par bourrasques, obscurcissant l'air, soulevant la neige sur le glacier, et la lançant sur toute sa longueur en nuages violemment agités, séparés par des espaces vides qui correspondaient aux points où la glace était restée à découvert. Au milieu de ces tourbillons, nos hommes travaillaient toujours. Bravement, et sans se rebuter, ils plantèrent un poteau après l'autre, jusqu'à ce qu'il y en eût dix sur la largeur du glacier.

Plusieurs de ces poteaux étaient plantés dans la neige. Ils avaient quatre pieds de long, et étaient enfoncés d'environ trois pieds. Plus d'une fois, pendant la nuit, en entendant le fracas de la tempête, je crus que peut-être la neige et les poteaux seraient emportés ensemble avant le matin. Cependant le vent s'apaisa. Nous étions debout dès l'aurore, mais la neige tombait à gros flocons. Elle était toute composée de ces charmantes fleurs à six pétales, ou de ces étoiles à six rayons que nous avons déjà décrites. Le temps s'éclaircit enfin un peu, et nous établîmes notre théodolite à l'extrémité de la première ligne. Mes compagnons descendirent sur le glacier, et, instruits par l'expérience de la veille, exécutèrent rapidement les mesures. La première ligne était terminée avant 11 heures du matin. Alors la neige recommença à tomber et à remplir l'atmosphère

de ses flocons innombrables, qui couvrirent toutes les hauteurs ; mais, contre mon attente, je pus voir et diriger mes hommes malgré la tourmente.

Pour arriver à la position occupée par le théodolite à l'extrémité de notre seconde ligne, il me fallut marcher en enfonçant jusqu'à la poitrine dans une neige aussi sèche et aussi molle que de la farine. Quant à mes compagnons, leur travail sur le glacier, pour s'ouvrir un chemin à travers la neige, fut prodigieux. Mais ils ne se rebutèrent pas, et j'entendis enfin le chef, debout derrière le poteau le plus éloigné, me crier : « Nous avons fini. » Je fus surpris de l'entendre si distinctement, car je croyais que la neige tombante étouffait le son. Le travail était terminé, et je démontai mon théodolite avec un sentiment semblable à celui d'un général qui aurait gagné une petite bataille.

Nous remîmes tout en ordre dans la maison, nous fîmes nos paquets, et nous redescendîmes en nous laissant glisser par les pentes escarpées de *la Filia* jusqu'à la voûte de l'Arveiron. La rivière était basse, mais n'était pas tarie. Il devait y avoir plusieurs semaines qu'elle n'avait reçu d'eau de la surface du glacier. Mais au commencement de l'hiver, les fissures étaient presque toutes pleines d'eau, et les eaux de l'Arveiron actuel étaient probablement dues au desséchement graduel du glacier. Nous pouvions, cette fois sans danger, nous engager sous la voûte, car la glace semblait aussi dure que du marbre. Dans la caverne, nous nous trouvâmes environnés d'une lumière bleuâtre. L'étrange beauté de cet endroit avait quelque chose de magique, et me rappelait les contes de cavernes de fées que j'avais entendus dans mon enfance. C'est à la source de l'Arveiron que se termina notre visite d'hiver à la Mer

de Glace ; le lendemain matin, j'étais en route pour Londres.

*Mouvement de la Mer de Glace pendant l'hiver.* — Voici les mesures exécutées pendant l'hiver de 1859 :

*Ligne n° 1.*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11. |
| Pouces | 7 | 11 | 14 | 13 | 14 | 14 | 16 | 16 | 12 | 12 | 7. |

*Ligne n° 2.*

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10. |
| Pouces | 8 | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 18 | 17 | 15 | 14. |

Ainsi, pendant l'hiver, la vitesse de la Mer de Glace dans le voisinage du Montanvert est, en nombres ronds, moitié de celle de l'été.

De même qu'en été, le bord oriental du glacier, en cet endroit, marche plus vite que le bord occidental.

*Mouvement des glaciers de Grindelwald et d'Aletsch.* — Au point de vue du mouvement, nous n'avons étudié aucun autre glacier aussi complétement que la Mer de Glace ; mais nous pouvons cependant ajouter à ces résultats quelques mesures exécutées sur d'autres glaciers célèbres. Près du village de Grindelwald, dans l'Oberland bernois, se trouvent deux grands courants de glace qui portent les noms de glacier supérieur et glacier inférieur de Grindelwald ; le second de ces glaciers est souvent visité par ceux qui parcourent les Alpes. Le 6 Août 1860, M. Vaughan Hawkins et moi nous y plantâmes une ligne de douze poteaux ; le mouvement de ces poteaux, mesuré le 8, nous donna, par 24 heures, les chiffres suivants :

MOUVEMENT DU GLACIER INFÉRIEUR DE GRINDELWALD.

| | Est. | | | | | | | | | | | Ouest. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12. |
| Pouces | 18 | 19 | 20 | 21 | 21 | 21 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 14. |

Nous avions placé notre théodolite un peu au-dessous du sentier qui mène à la région du glacier supérieur, et à environ un mille au-dessus de l'extrémité du glacier. Des crevasses rendaient les mesures difficiles à exécuter.

Le plus grand glacier de la Suisse est le Grand Aletsch, dont nous aurons encore occasion de parler. Le 14 Août 1860, M. Hawkins et moi nous y plantâmes une ligne de 34 poteaux. Le 16, nous mesurâmes le chemin parcouru, ce qui nous donna, pour 24 heures, les vitesses suivantes :

MOUVEMENT DU GLACIER DU GRAND ALETSCH.

| | Est. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12. |
| Pouces | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 14 | 16 | 17 | 17 | 19. |
| Poteau n° | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23. | |
| Pouces | 19 | 18 | 18 | 17 | 19 | 19 | 19 | 19 | 17 | 17 | 15. | |
| Poteau n° | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34. | |
| | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 12 | 12. | |
| | | | | | | | | | | | Ouest. | |

La vitesse maximum est ici de 19 pouces (48 centim.) par jour. Il est probable que la partie orientale du glacier a peu de profondeur, car l'action du lit du glacier rend très-lent le mouvement des poteaux du côté de l'Est. La largeur du glacier est ici d'environ 1800 mètres. Le théodolite était placé assez haut sur les rochers du flanc occidental de la montagne, environ un demi-mille au-dessus de la *Märgelin See*.

*Mouvement du glacier de Morteratsch.* — Bien loin à l'est de l'Oberland, et dans la partie intéressante de la Suisse connue sous le nom d'*Ober Engadin*, s'élève un groupe de montagnes, moins hautes que celles de l'Oberland, mais néanmoins fort imposantes. Ce groupe prend le nom de son pic le plus élevé, le Piz Bernina. Pour y arriver, nous prenons le chemin de fer de Bâle à Zürich, et de Zürich à Coire; puis nous prenons la diligence qui franchit soit la passe d'Albula, soit celle de Julier, pour arriver au village de Pontresina. Là nous sommes tout près des monts Bernina.

De Pontresina on franchit aisément la passe de Bernina, et l'on arrive en Italie, soit à pied, soit en voiture, par une bonne route carrossable. A environ une heure de marche au-dessus du village, on aperçoit de la route, au cœur même des montagnes, une vallée où se trouve un glacier assez considérable. Le long de ce glacier, on suit des yeux une moraine médiane, et on ne peut guère s'empêcher de remarquer que cette moraine, qui n'est d'abord qu'une bande étroite, s'élargit peu à peu en descendant, et finit par couvrir entièrement l'extrémité inférieure du glacier. Et ce n'est pas là un effet de perspective; si vous étiez sur les pentes des montagnes qui alimentent le glacier, vous verriez, de là aussi, s'élargir la bande de débris, quoique, de cet endroit, l'effet de la perspective dût tendre à rétrécir la moraine à mesure qu'elle s'éloigne en descendant.

Ce courant de glace est le glacier de Morteratsch, dont l'extrémité se trouve à une petite heure de marche du village de Pontresina. Il s'agit maintenant de déterminer sa vitesse, et d'expliquer l'élargissement de sa moraine médiane.

Dans l'été de 1864, M. Hirst et moi nous avons planté trois trois lignes de poteaux en travers du glacier. La première passait à la partie supérieure du glacier; la seconde, beaucoup plus bas, et la troisième, plus bas encore. Néanmoins, la troisième ligne elle-même était bien au-dessus de l'extrémité inférieure du glacier. Voici la vitesse, par 24 heures, de chacune de ces lignes :

*Première ligne.*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11. |
| Pouces | 18 | 2 | 13 | 13 | 14 | 13 | 12 | 12 | 10 | 7 | 5. |

*Deuxième ligne.*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11. |
| Pouces | 1 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11. |

*Troisième ligne.*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Poteau n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11. |
| | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 4. |

Comparons ces résultats entre eux. Vous remarquez que la vitesse de la première ligne est plus grande que celle de la deuxième, laquelle, à son tour, surpasse celle de la troisième.

Nous laissons descendre ces lignes pendant 100 heures, et, au bout de ce temps, nous trouvons les nombres suivants pour les distances parcourues par les points de plus grande vitesse des trois lignes :

DISTANCES MAXIMA PARCOURUES EN 100 HEURES.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Première ligne. . . . . . . . . . | 56 | pouces | (1m,40). |
| Deuxième ligne. . . . . . . . . . | 45 | » | (1m,12). |
| Troisième ligne. . . . . . . . . . | 30 | » | (0m,75). |

Ces chiffres démontrent que les parties supérieures du glacier de Morteratsch avancent sur les parties inférieures.

*En 1871, j'ai constaté que le mouvement d'un point du milieu du glacier, dans le voisinage de son extrémité inférieure, est de moins de deux pouces par jour!*

Que résulte-t-il donc de cette plus grande vitesse des parties supérieures du glacier? Evidemment, cette moraine médiane doit être réduite dans le sens de sa longueur, et s'étaler latéralement. Nous voyons ainsi révélée d'une manière distincte la cause de l'élargissement de la moraine médiane.

On a beaucoup discuté la question de savoir si un glacier peut creuser la vallée qu'il parcourt, et on a cité le glacier même de Morteratsch pour prouver qu'il n'en est pas ainsi. Des observateurs se sont rendus à l'extrémité inférieure du glacier, et, la trouvant sensiblement tranquille, ils en ont conclu qu'il ne creuse pas le terrain. Mais ceux qui ont soutenu que les glaciers creusent les vallées, n'ont jamais dit, ni voulu dire, que ce fût le bec du glacier qui agît dans ce cas. Pour le glacier de Morteratsch, le travail de creusement, qui s'effectue certainement dans des proportions plus ou moins grandes, doit être bien plus considérable au haut qu'au bas du glacier.



# LIVRE III

## LES CURIOSITÉS DES GLACIERS

---

### CHAPITRE PREMIER

LES CREVASSES ET LEURS GLAÇONS. — LE BERGSCHRUND. — DIFFÉRENTES DIRECTIONS DES CREVASSES. — INFLUENCE DE LA COURBURE DU GLACIER.

*Les crevasses.* — Nous allons maintenant commencer d'autres recherches. Nous avons replié notre chaîne, et nous nous préparons à rentrer, après une journée pénible passée sur le glacier du Géant, quand sous nos pieds se fait entendre une explosion qui semble partir de la masse même du glacier. Un peu surpris, nous regardons autour de nous ; le bruit se répète, et plusieurs explosions se succèdent rapidement. Elles éclatent tantôt à notre droite, tantôt à notre gauche, et il semble que le glacier se brise tout autour de nous. Mais nous n'apercevons toujours rien.

Nous examinons alors soigneusement la glace ; après une heure de recherches, nous découvrons la cause de ces bruits. Ils annoncent la formation d'une crevasse. A travers une flaque d'eau qui se trouve sur le glacier, nous

voyons monter des bulles d'air, et nous nous apercevons qu'au fond de cette flaque il y a une fente étroite qui livre passage aux bulles d'air. A droite et à gauche de la flaque, nous pouvons suivre la fissure nouvelle jusqu'à une grande distance. Elle est quelquefois si faible qu'elle échappe à la vue, et n'est nulle part assez large pour livrer passage à la lame d'un couteau.

Il est difficile de croire que les formidables crevasses entre lesquelles nous avons si souvent passé avec crainte, puissent avoir une si faible origine; telle est pourtant la vérité. Les gouffres béants qui se trouvent aux chutes de glace du Géant et du Talèfre, et plus haut encore, n'ont été d'abord que des fissures étroites, qui se sont peu à peu élargies en crevasses. Nous apprenons ainsi, par un cxemple à la fois instructif et frappant, que des apparences qui semblent indiquer une action très-violente, peuvent réellement être le résultat d'actions si lentes qu'on ne peut les reconnaître que par les observations les plus délicates. Dans la production des phénomènes de la nature, il y a toujours deux faits dont il faut tenir compte; ces faits sont l'intensité de la force mise en jeu, et le temps pendant lequel elle agit. Supposez que l'intensité de la force soit grande, et le temps très-court, et vous aurez une convulsion soudaine; mais vous pourrez obtenir exactement le même résultat apparent, si vous supposez l'intensité très-faible et le temps très-long. Cette vérité est démontrée d'une manière frappante par les cascades de glace et les crevasses des glaciers des Alpes; et plus d'un phénomène géologique, qui semble, au premier abord, indiquer une violente convulsion, a pu être réellement produit aussi par une action presque imperceptible.

*Les glaçons.* — Les plus grandes crevasses se trouvent

sur les névés les plus hauts, où elles se présentent tantôt sous la forme de longues fissures béantes, et tantôt sous celle de gouffres irréguliers. Elles reflètent une lumière d'un bleu pâle, qui se perd peu à peu dans l'obscurité des parties les plus profondes. Sur les bords de ces ouvertures, et le plus souvent sur les bords du côté du sud, est suspendue une couche de neige d'où pendent, comme des stalactites, des rangées de glaçons transparents de 10, 20 ou 30 pieds de long. Ces lances pendantes sont un des traits les plus frappants des crevasses des parties supérieures.




Comment se forment-elles? Evidemment par la fonte de la neige. Mais pourquoi l'eau, une fois dégelée, se solidifie-t-elle de nouveau sous cette forme? Vous avez vu, pendant au bord d'un toit, des glaçons évidemment produits par la fonte de la neige qui se trouve sur le toit. Si nous expliquons l'existence de ceux-ci, nous pourrons aussi expliquer celle des stalactites plus grandes des crevasses des Alpes.

Réunissons le peu que nous savons, et réfléchissons patiemment, pour établir, si nous le pouvons, une théorie des glaçons.

Et d'abord, il faut savoir que l'air de notre atmosphère est à peine échauffé par les rayons, visibles ou invisibles, du soleil. L'air laisse passer avec une extrême facilité toute espèce de rayons, et ce sont seulement les quelques rayons qu'il ne laisse pas passer, qui servent à l'échauffer.

Mais il n'en est pas de même de la neige qui reçoit les rayons du soleil. Elle absorbe la chaleur solaire, et, lorsque le soleil donne, on peut voir les sommets élevés des Alpes tout brillants de l'eau qui vient de la fonte de

la neige. Et, en même temps, l'air qui se trouve au-dessus et autour des montagnes peut être à plusieurs degrés au-dessous du point de congélation.

Pour s'en assurer, on n'a qu'à passer du soleil à l'ombre. Un seul pas suffit pour vous transporter d'un endroit où le thermomètre est haut à un endroit où il est bas ; et le changement vient, non d'une différence dans la température de l'*air*, mais simplement de ce que le thermomètre ne subit plus l'action directe des rayons solaires. Et même, sans déplacer le thermomètre, on peut démontrer que l'air est froid, en arrêtant les rayons du soleil au moyen d'un écran convenablement disposé.

Regardez maintenant la neige qui couvre le toit de votre maison. Le soleil vient la fondre ; l'eau coule lentement jusqu'au bord, puis tombe. Si ce bord est exposé au soleil, l'eau reste à l'état liquide ; mais si le bord n'est pas exposé au soleil, la goutte d'eau, avant de quitter la neige dont elle provient, *se trouve déjà à l'ombre*. Or l'espace qui se trouve à l'ombre, nous l'avons déjà dit, peut être au-dessous du zéro. S'il en est ainsi, la goutte, au lieu de tomber, se congèle, et devient ainsi le rudiment d'un glaçon; d'autres gouttes lui succèdent, coulent sur ce rudiment, s'y congèlent en partie, et en épaississent la base. Mais une partie de l'eau arrive à l'extrémité libre du glaçon, s'y suspend et s'y congèle avant de tomber. Le glaçon s'allonge ainsi. Dans les Alpes, où la fonte des neiges est abondante et le froid de la crevasse intense, les glaçons, quoique produits de la même façon, prennent naturellement des dimensions plus considérables. L'eau qui vient de la neige, quand le soleil a cessé d'agir, produit ainsi des glaçons.

Il est intéressant et important de pouvoir expliquer la

formation d'un glaçon; mais il l'est bien plus encore de comprendre le lien qui unit toutes les opérations de ce que nous appelons la nature. On ne peut bien comprendre un glaçon sans savoir d'abord que les rayons du soleil qui ont assez de puissance pour fondre la neige et brûler la peau humaine, qui pourraient même, si on les concentrait, consumer le corps humain tout entier, peuvent traverser l'air et le laisser à la température de la glace.

*Le Bergschrund.* — Cette difficulté une fois éclaircie, revenons aux crevasses, en les prenant dans l'ordre où elles se sont formées. Et d'abord, au-dessus du névé nous avons les pics et les crêtes qui terminent les Alpes, et contre lesquels la neige s'élève souvent en talus escarpés. Nous savons déjà que les névés et les glaciers sont animés d'un mouvement lent de descente; mais il arrive ordinairement que les talus les plus élevés adhèrent assez fortement au rocher pour y rester attachés, tandis que la partie inférieure descend. Il se forme ainsi une crevasse d'un caractère particulier, à laquelle on donne, dans les Alpes Allemandes, le nom de *Bergschrund* (crevasse de montagne). Cette crevasse présente souvent l'aspect d'un fossé entourant un pic, comme pour le défendre contre ceux qui voudraient le gravir.

Examinons de plus près la formation du Bergschrund, et pour cela prenons la neige encore intacte. Ses parties supérieures s'attachent aux rochers, et descendent avec une lenteur extrême. Mais ses parties inférieures, soit à cause de leur profondeur et de leur poids plus considérables, soit à cause de leur moindre cohésion, sont animées d'un mouvement plus rapide. Il s'établit donc un tiraillement qui tend à séparer la neige du bas de celle d'en haut. Pendant un certain temps, la cohésion du névé

résiste à cette tendance ; puis elle cède enfin, et il se forme une fente exactement perpendiculaire à la direction de l'effort. En d'autres termes, *une crevasse se forme perpendiculairement à la ligne de tension.*

*Crevasses transversales.* — Et sur le névé et sur le glacier, l'origine des crevasses est la même. Par une cause ou une autre, le glacier se trouve dans un état de tension, et, comme il ne peut s'étendre, il se rompt transversalement à la ligne de tension. Prenons, par exemple, la chute du Géant, ou celle du Talèfre, au-dessus desquelles vous savez que s'ouvrent de terribles crevasses. Supposons le névé et le glacier entièrement enlevés, de manière à laisser voir la surface sur laquelle ils se meuvent. Du Col du Géant nous verrions cette surface s'abaisser doucement jusqu'à la place qu'occupe maintenant le bord de la cascade. Là, la surface s'abaisserait verticalement jusqu'au lit du glacier du Géant actuel ; puis la pente redeviendrait presque insensible.

Figurons-nous la marche du névé sur une pareille surface. Il descend du Col jusqu'à ce qu'il arrive à la chute dont nous venons de parler. Il franchit le bord, et s'incline nécessairement pour suivre la configuration du terrain. Représentons-nous clairement ce qui doit alors arriver. La surface du névé subit évidemment une forte tension ; elle se brise et forme une crevasse. Chaque partie du névé se brise de même en franchissant le saut, et il se forme ainsi, en bas, une série de crevasses. Les vides successifs sont séparés par une grande crête transversale. Des tensions locales peuvent souvent aussi amener la rupture de ces crêtes, ce qui produit alors les tours de glace connues sous le nom de *séracs.* Les crêtes et les séracs sont lancés au pied de la chute, et

leur dislocation est encore augmentée par la descente.

Que doit-il se passer au pied de la chute? Ici l'escarpement diminue tout à coup. Il est clair que les crevasses doivent non seulement cesser de s'élargir, mais même se refermer complétement ou en partie. Au haut de la chute, la courbure rendait la surface convexe ; au bas, la courbure rend la surface concave. Dans le premier cas, il y a *tension*, dans le second, *pression;* donc, dans le premier cas, les crevasses doivent *s'ouvrir*, et, dans le second, *se refermer*. Les faits observés s'accordent tout à fait avec ce raisonnement.

Etendez le bras nu, et marquez-y, à l'encre, deux points à quelques centimètres l'un de l'autre, juste en face du coude. Pliez maintenant le bras : les points se rapprochent et finissent par se toucher. Ces deux points peuvent représenter les deux bords d'une crevasse au bas d'une chute; la flexion du bras ressemble à celle de la glace, et le rapprochement des deux points rappelle celui des deux bords d'une fissure.

Les mêmes observations s'appliquent à différentes parties de la Mer de Glace. En certains endroits, l'inclinaison du fond change, et lorsqu'il franchit la ligne de séparation, le glacier se brise. C'est ainsi que se forment les *crevasses transversales*. Il existe un de ces changements d'inclinaison en face de l'Angle, et un autre, plus grand encore mais de même nature, au haut du Glacier des Bois. Il en résulte qu'au premier de ces deux endroits la Mer de Glace est impraticable, et qu'au second la surface est tourmentée et déchirée comme nous l'avons vu. Au-dessous de l'Angle, et au pied du Glacier des Bois, la pente diminue, les crevasses se referment, et le glacier présente de nouveau une surface continue et compacte.

*Crevasses latérales.* — Et alors, si l'inclinaison du fond restait constante, est-ce qu'il n'y aurait pas de crevasses ? Il y en aurait certainement moins, mais elles ne disparaîtraient pas entièrement. En effet, d'autres causes encore font subir une tension à la glace, et en déterminent la rupture. De toutes ces causes, la principale est le mouvement plus rapide du centre du glacier.

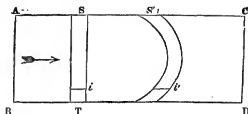
Les travaux d'un savant éminent que nous avons perdu, W. Hopkins, de Cambridge, vont nous permettre d'expliquer à fond ce point difficile. Mais le plaisir de trouver cette explication serait encore augmenté si nous pouvions voir auparavant les apparences trompeuses dont il s'agit de rendre compte. Je voudrais, si cela était possible, pouvoir vous transporter avec moi à Bâle, à Thun, à Interlaken, et enfin à Grindelwald, pour vous mettre en présence du Wetterhorn et de l'Eiger, et vous rapprocher de tous les plus grands pics de l'Oberland bernois, du Finsteraarhorn, du Schreckhorn, du Monch et de la Jungfrau. A Grindelwald, nous le savons, se trouvent deux glaciers bien connus, l'Ober Grindelwald et l'Unter Grindelwald ; c'est par ce dernier que commenceront nos observations.

Descendant du village jusqu'au fond de la vallée, nous remontons la montagne opposée, et, laissant à notre gauche les grands précipices du Wetterhorn, nous gravissons un sentier d'où nous pourrons dominer le glacier. Là nous verrons de beaux spécimens de crevasses qui s'ouvrent au sommet d'un talus, et se referment au pied de ce même talus. Mais le point le plus intéressant, ce sont les crevasses qui se forment sur le côté de ce glacier, les crevasses *marginales*.

Ici en effet, le bord est coupé de nombreuses fissures,

même dans les endroits où le centre est compacte, et nous remarquons particulièrement que les fissures ne sont ni longitudinales, ni transversales, mais *obliques*, faisant avec le bord du glacier un angle d'environ 45 degrés. Ces crevasses se dirigent du bord vers le haut du glacier, de sorte que les extrémités qui viennent aboutir à la montagne semblent *traînées vers le bas*. Si nous en savions moins sur les glaciers, il est probable que l'aspect de ces fissures nous ferait penser que les bords du glacier sont animés d'un mouvement plus rapide que le centre, et le laissent derrière eux.

Telle est, en effet, la conclusion que M. Agassiz avait tirée de ces apparences, avant d'avoir mesuré le mouvement des bords et du centre du glacier de l'Unteraar. Au contraire, M. Hopkins, bien accoutumé aux problèmes de la mécanique, a déduit l'obliquité des crevasses latérales du mouvement plus rapide du centre. C'est ce point qu'il faut tâcher d'éclaircir ici.




Soient AC et BD les deux bords d'un glacier qui se meut dans le sens indiqué par la flèche. Considérons la tranche ST prise en ligne droite, perpendiculairement au sens de la marche du glacier. Dans quelques jours ou quelques semaines d'ici, cette tranche aura descendu, et, comme le centre marche plus vite que les bords, elle ne sera plus

droite, mais elle se recourbera de manière à présenter la forme de S'T'.

Appelons T*i* un petit carré de la tranche telle qu'elle était d'abord, pris dans le voisinage d'un des bords. Dans sa nouvelle position, le carré se sera déformé et sera devenu le losange T'*i*'. Considérons un instant la diagonale T*i* du carré; dans sa position inférieure, cette diagonale s'allongerait et deviendrait T'*i*', *si la glace pouvait s'allonger*. Mais la glace ne s'allonge pas; elle se brise, et nous avons une crevasse perpendiculaire à la ligne T'*i*'. Il suffit de regarder la figure pour reconnaître que la crevasse est dirigée obliquement vers le haut du glacier.

Tout le long du bord du glacier, la vitesse plus grande du centre détermine une tension semblable, et il en résulte que les deux bords sont coupés d'un grand nombre de ces crevasses obliques, même aux endroits où le centre reste intact.

Il est curieux de voir, sur d'autres points, les fissures transversales du centre se réunir à celles des bords, de manière à former de grandes crevasses recourbées qui vont d'un bord du glacier à l'autre (Voyez pl. V, fig. 2, en face de la page 57). La convexité de la courbe est tournée *vers le haut*, comme l'indique la mécanique. Mais ceux qui sont étrangers aux principes de cette science ne concluraient jamais de l'aspect de ces courbes que c'est le centre qui marche plus vite. Dans les endroits où une masse de terre a glissé sur une pente, ou dans le mouvement de masses de boue à moitié durcie, on remarque quelquefois des apparences semblables à celles que présente la glace.

*Crevasses longitudinales.* — Nous avons expliqué l'origine des crevasses transversales et des crevasses latérales. Mais lorsqu'un glacier, au sortir d'un défilé étroit et es-

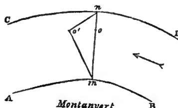
carpé, arrive à une plaine moins inclinée, qui lui permet de s'étendre librement dans le sens latéral, son mouvement se trouve en partie arrêté, et la partie du glacier qui occupe la plaine subit la pression des parties qui descendent des hauteurs. Ici, la ligne de poussée se trouve dans la direction de la marche du glacier, et la ligne perpendiculaire à celle-ci est une ligne de tension. Le glacier se brise perpendiculairement à cette dernière, et c'est ainsi que se forment les *crevasses longitudinales*.

Nous trouvons des exemples de ces crevasses dans la partie inférieure du Glacier du Rhône, vu de la Passe de Grimsel, ou d'un point quelconque des montagnes qui le bordent.

*Influence de la courbure du glacier.* — Il ne nous reste plus à discuter qu'un seul point, et nous en savons assez pour le comprendre facilement. Vous n'avez pas oublié qu'au commencement de nos recherches, lorsque nous avons traversé la Mer de Glace, en allant du bord du Chapeau au bord du Montanvert, nous avons remarqué que le bord du Chapeau avait plus de fissures que le centre ou le bord du Montanvert. Quelle en est la raison? Comme nous savons maintenant que le bord du Chapeau marche plus vite que l'autre bord du glacier, et que le point de plus grande vitesse se trouve, non au centre, mais assez loin à l'est, nous pouvons très-facilement répondre à cette question.

Soient AB et CD les deux bords recourbés de la Mer de Glace, au Montanvert, et soit *mn* une ligne droite qui traverse le glacier. Appelons *o* le point de plus grande vitesse. Voici comment on peut expliquer les conditions mécaniques auxquelles se trouvent soumis les deux bords du glacier. Supposons que *mn* soit un cordon élastique

dont les extrémités s'attachent à deux points fixes; saisissons ce cordon entre le pouce et l'index, au point *o*, et




tirons-le jusqu'en *o'*, de telle sorte que la distance entre *o'* et le côté DC reste constante. Alors la longueur *no* du cordon sera devenue *no'*, et la longueur *mo* sera devenue *mo'*, et l'on voit aisément que l'allongement de la partie *no* est relativement plus grand que celui de *mo*. En d'autres termes, la tension de *no'* est plus grande que celle de *mo'*, de sorte que si cette tension doit déterminer une rupture, elle s'opèrera plutôt sur la ligne la plus courte.

Ces deux lignes représentent l'état de tension des deux bords du glacier. Les bords sont retenus, et le centre tend à avancer, ce qui détermine une tension entre le centre et les bords. Mais le déplacement du point de plus grande vitesse dû à la courbure de la vallée, rend la tension plus grande sur le bord oriental que sur le bord occidental. C'est pour cela que les crevasses sont plus nombreuses sur le bord oriental du glacier que sur le bord occidental.

De là vient la difficulté que l'on trouve à suivre le bord oriental de la Mer de Glace, ce qui a été une des raisons pour lesquelles nous avons traversé le glacier en face du Montanvert. Le bord oriental présente deux courbures convexes pour une qui se trouve sur le bord opposé, et par conséquent, à tout prendre, c'est le bord oriental de la Mer de Glace qui est le plus crevassé.

# CHAPITRE II

MORAINES, PLATEAUX, CÔNES DE SABLE ET MOULINS DES GLACIERS.

*Moraines, plateaux de glace et cônes de sable.* — Lorsque nous avons traversé pour la première fois la Mer de Glace, entre Trélaporte et le Couvercle, nous avons vu les bandes de rochers et de débris qui forment les moraines médianes présenter des crêtes qui peuvent s'élever, en quelques endroits, jusqu'à vingt ou trente pieds au-dessus du niveau général du glacier. Si l'on examine ces crêtes, on trouve que la couche de débris n'est que superficielle, et qu'elle repose sur une grande arête de glace qui suit toute la longueur du glacier. D'où vient le soulèvement de cette arête?

Tout le monde connaît l'expérience dans laquelle Franklin mit sur de la neige, par un jour de soleil, des morceaux de drap de différentes couleurs : ces morceaux de drap s'enfoncèrent inégalement dans la neige, et ceux de couleur foncée plus profondément que les autres.

Examinons cette expérience. Les rayons du soleil tombent d'abord sur la surface supérieure du drap et l'échauffent. La chaleur est ensuite transmise à travers le drap jusqu'à la surface inférieure, laquelle la transmet à

la neige : celle-ci fond alors sous l'influence de la chaleur. Il est évident que la quantité de neige qui est fondue dépend entièrement de la quantité de chaleur qui se transmet de la surface supérieure à la surface inférieure du drap.

Or, le drap est ce qu'on appelle un mauvais conducteur. Il ne se laisse pas traverser librement par la chaleur. Cependant, lorsque celle-ci n'a à traverser que l'épaisseur d'un seul morceau de drap, il en passe une assez grande quantité. Mais doublez, triplez ou quintuplez l'épaisseur du drap; ou encore, ce qui est plus facile, superposez-en plusieurs morceaux les uns aux autres, et vous finirez par arriver à un point où aucune quantité appréciable de chaleur ne peut arriver de la surface supérieure à la surface inférieure.

Qu'arrivera-t-il si un morceau assez épais, ou si une telle série d'épaisseurs de drap a été posée sur de la neige exposée aux rayons énergiques du soleil? La neige fond tout autour du drap ; mais celle que recouvre le drap se trouve protégée. Si l'action du soleil se prolonge assez, il en résultera inévitablement que le niveau de la neige baissera tout autour du morceau de drap, et que celui-ci restera perché sur une éminence de neige.

Si vous avez compris ce qui précède, vous savez déjà d'où viennent les reliefs des moraines. Ils ne viennent pas d'un soulèvement de la glace; mais la glace qui se trouve sous les roches et les débris étant garantie du soleil, le glacier à droite et à gauche fond, et laisse une arête de glace après lui.

C'est de la même manière que l'on peut expliquer différentes autres curiosités que présente le glacier. Voici, par exemple, sur la Mer de Glace, des tablettes de ro-

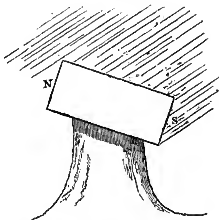
cher qui se trouvent quelquefois sur des colonnes de glace. C'est là ce que l'on appelle des plateaux de glacier. Ces plateaux ne proviennent pas de la croissance d'une tige de glace sortie du glacier; ils proviennent de ce que le glacier a fondu tout autour de la glace, laquelle a été protégée par la pierre. Voici l'esquisse d'un des plateaux de la Mer de Glace.



Esquisse d'un des plateaux de la Mer de Glace.

Remarquons de plus qu'il est rare qu'un plateau de glacier soit d'aplomb sur sa base. En général, il penche d'un côté; et des observations répétées permettent de constater que son inclinaison indique toujours la ligne nord-sud du glacier. En effet, le soleil étant au sud du zénith, dirige ses rayons vers l'extrémité sud du plateau, tandis que l'extrémité nord reste dans l'ombre. Alors, l'extrémité sud, recevant le plus de chaleur, ne protége pas la glace qu'elle couvre, avec autant d'efficacité que l'extrémité nord. Le plateau penche d'abord, et finit par glisser tout-à-coup de dessus son piédestal.

La figure ci-dessous représente ce que nous pouvons appeler un plateau idéal. Les lignes obliques représentent la direction des rayons du soleil, et la manière dont le plateau finit par glisser sur sa base, est d'accord avec ce que l'on observe sur les glaciers.




Esquisse schématique d'un plateau de glacier.

Un caillou ne s'élève pas ainsi : comme le morceau de drap de Franklin, un caillou noir s'enfonce dans la glace. Une motte de terre noire ne reste pas à la surface; elle enfonce : différentes parties du glacier du Géant sont trouées par des mottes de terre qui se sont enfoncées dans la glace.

Mais il n'en est plus de même quand la terre est assez épaisse pour protéger la glace. Il arrive souvent qu'un courant d'eau entraîne du sable des montagnes ou des moraines, et le jette sur certains points du glacier. Il en résulte une action fort curieuse : la surface sablée s'élève, et c'est la partie où se trouve la couche de sable la plus épaisse qui devient la plus haute. Il se produit ainsi de petits pics et de

petites éminences, et, quand la distribution du sable est favorable, et l'action suffisamment prolongée, il se forme de petites montagnes, quelquefois isolées, quelquefois groupée de manière à imiter les Alpes elles-mêmes. Les cônes de sable de la Mer de Glace n'ont rien de frappant; mais sur le Görner, l'Aletsch, le Morteratsch et d'autres glaciers, ils atteignent quelquefois une hauteur de dix ou vingt pieds.

*Les moulins des glaciers.* — Une longue expérience nous a fait connaître le caractère de la Mer de Glace. Nous l'avons parcourue chaque jour, avec un objet spécial en vue, mais sans fermer pour cela les yeux à tout le reste. Ce sont les objets entrevus en passant, lorsqu'ils nous occupent seulement d'une manière accessoire, qui deviennent à leur tour de nouveaux sujets de recherches scientifiques.

Ainsi, en parcourant la glace près de Trélaporte, nous avons souvent été frappés par un bruit qui rappelle les sourds grondements du tonnerre. Plus tard nous avons cherché la cause de ce son, et nous l'avons trouvée.

Une grande portion de ce côté du glacier est sans fissure. Des filets d'eau peuvent y former des ruisselets; ces ruisselets se réunissent en ruisseaux, et ceux-ci se combinent en petits torrents qui se creusent quelquefois des lits profonds dans la glace. Tôt ou tard, ces cours d'eau arrivent à un endroit où le glacier a subi un effort, et où une fissure s'est formée en travers de la direction du ruisseau. Une voie s'ouvre ainsi par où l'eau arrive au fond du glacier. A force d'agir, le ruisseau creuse un puits, et la fissure devient ainsi l'origine d'un entonnoir dont on ne peut voir le fond, et dans lequel l'eau s'élance avec le fracas du tonnerre.

Cet entonnoir et sa cataracte forment ce qu'on appelle un Moulin de glacier.

Donnez-moi la main pour que je vous tienne ferme; vous pourrez alors vous tenir sur le bord de ce puits et regarder jusqu'au fond. Ce trou, plein d'une lueur bleuâtre, est très-beau; mais il est terrible. Des imprudents sont tombés dans ces puits; une seconde ou deux d'étourdissement ont été suivies d'une mort subite. Mais, sur les glaciers et dans les montagnes, l'habitude doit faire de la prudence une seconde nature pour les explorateurs comme vous et moi.

La fissure dans laquelle le ruisseau se jetait d'abord pour former le moulin, descend peu à peu avec le glacier. Une nouvelle portion de la glace arrive à l'endroit où s'exerce l'effort de rupture. Une nouvelle fissure se forme alors au-dessus du moulin, lequel est désormais abandonné par le ruisseau, et continue à descendre, mais vide et inutile. Ici, sur la Mer de Glace, en avant du grand moulin, nous ne voyons pas moins de six de ces trous abandonnés. Nous en sondons quelques-uns jusqu'à la profondeur de 90 pieds (27 mètres).

Mais nous voulons déterminer, si la chose est possible, toute la profondeur de la Mer de Glace. Le Grand Moulin nous offre pour le faire une occasion qu'il ne faut pas négliger. Une première tentative pour sonder le moulin échoue, par suite de l'impétuosité des eaux qui détermine la rupture de notre corde. Nous savons que les marins mettent un peu de graisse dans un poids creux, ce qui leur permet de juger du fond auquel ils ont à faire. Nous avons recours à un poids ainsi préparé, mais sans pouvoir arriver au lit du glacier. La plus grande profon-

deur à laquelle arrive notre plomb de sonde, est de 163 pieds (49 mètres 55).

Du 28 juillet au 8 août, nous avons suivi la marche du Grand Moulin. A la première de ces dates, nous avons déterminé la position du moulin. Le 31, il avait descendu de 50 pouces (1 mètre 265); un peu plus de vingt-quatre heures plus tard, il avait avancé de 74 pouces (1$^{m}$ 872). Le 8 août, il avait avancé de 198 pouces (5$^{m}$ 009), ce qui donne une moyenne d'environ 18 pouces (0$^{m}$ 455) par vingt-quatre heures. Sans doute, l'été prochain, on trouvera sur la Mer de Glace un Grand Moulin tonnant près de Trélaporte; mais, comme la crevasse du grand plateau dont nous avons déjà parlé, ce ne sera pas *notre* Moulin. Celui-ci, ou plutôt la glace où il était creusé, se trouve probablement maintenant à plus d'un mille au-dessous de la position qu'il occupait en 1857.

# CHAPITRE III

MAXIMUM DE DENSITÉ DE L'EAU. — ELLE SE DILATE EN SE CONGELANT. — THÉORIE DES PUITS DES GLACIERS. — MÉCANISME DE LA CONGÉLATION DE L'EAU.

*Changements de volume de l'eau, sous l'influence de la chaleur et du froid.* — Nous avons remarqué sur le glacier des puits et des creux remplis d'une eau du bleu le plus tendre. Certains de ces creux ne sont que les puits d'anciens moulins, fermés au fond. Pour les expliquer, on a mis en avant une théorie qui, bien qu'elle puisse être insoutenable, présente, au sujet des propriétés de l'eau, des considérations qui doivent nous être familières à tous.

Lorsque nous avons disséqué un morceau de glace au moyen d'un rayon de chaleur, nous avons remarqué de petits vides au centre des fleurs liquides formées par le rayon. Ces vides, nous les avons attribués à ce que, lors de la fusion de la glace, l'eau produite a un volume moindre que la glace, de sorte que l'eau de la fleur de glace ne peut occuper tout l'espace que la fleur elle-même occupait.

Essayons de faire encore mieux comprendre ce point. Bouchons hermétiquement une petite fiole, et par le bou-

chon faisons passer un tube de verre étroit, également bien bouché. Il est facile de mettre dans la fiole assez d'eau pour que le liquide atteigne un certain niveau dans le tube de verre.

Faisons maintenant chauffer la fiole à la flamme d'une lampe à alcool. Dès que la flamme touche le verre, vous voyez le liquide baisser pendant un moment dans le tube de verre. Cela vient de ce que la chaleur dilate momentanément la fiole ; celle-ci devient brusquement plus grande lorsqu'on la soumet à l'action de la flamme.

Mais la dilatation de l'eau vient bientôt égaler et surpasser celle de la fiole. Nous voyons immédiatement la colonne liquide monter dans le tube de verre, tout comme le mercure monte dans le tube d'un thermomètre exposé à la chaleur.

Notre tube de verre a dix pouces de long, et, dans l'origine, l'eau s'y élevait à la hauteur de cinq pouces. Nous allons faire agir la lampe à alcool jusqu'à ce que l'eau atteigne le haut du tube, et déborde. Cette expérience suffit pour démontrer la dilatation de l'eau par la chaleur.

Nous prenons maintenant un petit verre ordinaire, et nous y mettons un peu de glace pilée et de sel. Sur ce mélange nous posons la fiole, ayant soin de l'entourer du même mélange réfrigérant. La colonne liquide s'abaisse dans le tube, ce qui prouve que le froid fait contracter le liquide. Nous laissons cette contraction s'opérer pendant quelques minutes, et nous observons que le liquide s'abaisse de plus en plus lentement, jusqu'à ce qu'il s'arrête tout à fait.

Tenez les yeux fixés sur la colonne liquide; elle reste immobile pendant une fraction de minute, puis se remet

en mouvement. Mais c'est un mouvement *d'ascension* et non de descente. *Le mélange réfrigérant agit maintenant exactement comme le faisait la flamme.*

Il ne serait pas difficile de faire traverser le bouchon par un thermomètre plongeant dans la fiole, et ce thermomètre nous dirait la température exacte à laquelle le liquide cesse de se contracter, et commence à se dilater. Nous verrions qu'en ce moment la température du liquide est un peu au-dessus de 39° Fahr (4° centig.).

C'est donc à cette température que l'eau atteint *son maximum de densité.*

A quelques degrés au-dessous de cette température, c'est-à-dire à 32° Fahr (zéro centigrade), le liquide commence à se convertir en cristaux solides de glace, laquelle, vous le savez, flotte sur l'eau, parce qu'elle occupe plus de place à poids égal. En réalité, cette halte des molécules, au moment où elles arrivent à 4° centig., n'est qu'une préparation à la cristallisation qui va s'effectuer, et dans laquelle la dilatation par le froid est à son plus haut point. Jusqu'au point de solidification, l'accroissement de volume est lent et graduel ; tandis que, dans la solidification, il est brusque et d'une force irrésistible.

C'est par cette force d'expansion que les académiciens de Florence firent, il y a bien des années, éclater une sphère de cuivre de près de trois quarts de pouce d'épaisseur. C'est par la même force qu'en 1667 le célèbre astronome Huyghens fit éclater des canons de fer d'un doigt d'épaisseur. Ces expériences ont souvent été répétées depuis. A Québec, pendant un hiver rigoureux, le major Williams fit remplir d'eau un mortier dont la bouche fut fermée avec un tampon de bois. Exposé à une température de — 27° centigr., le métal résista à la pression, mais le tampon fut

lancé à une distance de 400 pieds (122 mètres). A Varsovie on a pu faire éclater des obus par ce moyen ; nous-mêmes, nous avons pu réduire en morceaux des bombes épaisses, en les laissant une demi-heure dans un mélange réfrigérant.

Voici donc la théorie des puits dont nous parlions au commencement de ce chapitre : — l'eau de la surface du puits est échauffée par le soleil, qui la porte, par exemple, à la température de $+ 4^{o}$ centig. L'eau du fond, en contact avec la glace, doit être à zéro ou à peu près. L'eau plus lourde se trouve donc au haut; elle descendra au fond, y fondra la glace, et augmentera ainsi la profondeur du puits.

La circulation dont nous venons de parler s'établit assurément, et produit quelques effets curieux; mais elle ne produit pas, je crois, celui que nous venons de lui attribuer. Pour qu'un puits devienne *plus profond*, il faut que la fusion qui s'opère au fond soit plus rapide que celle de la surface du glacier. Il n'est pas facile de voir comment l'absorption de la chaleur solaire par l'eau, qui la transporte au fond du puits, détermine au fond une fusion plus rapide que ne l'est celle de la glace qui reçoit l'action directe des rayons solaires. La surface du glacier doit baisser *au moins* aussi rapidement que le fond du puits, de sorte que la circulation, bien qu'existant en réalité, ne peut produire l'effet qui lui est attribué.

*Conséquences qui résultent des propriétés précédentes de l'eau.* — Je n'avais guère plus que votre âge, quand on m'apprit la propriété que possède l'eau de cesser de se contracter à $+ 4^{o}$ centig., et je me rappelle encore l'impression que ce fait fit sur moi. En effet, on me demanda d'examiner ce qui arriverait si cette exception unique à une loi d'ailleurs universelle cessait d'exister.

On me demanda de réfléchir à l'état où se trouverait un lac plein de poissons, dont la surface serait exposée à l'action d'un air très-froid. Je vis clairement que l'eau, se trouvant refroidie, se contracterait, et deviendrait plus lourde; qu'elle irait par conséquent au fond, et serait remplacée par l'eau plus légère et plus chaude venue du fond du lac.

On me fit voir que, sans l'exception dont nous venons de parler, ce mouvement de circulation continuerait jusqu'à ce que toute l'eau du lac se fût abaissée à la température de congélation. La congélation commencerait alors, et se poursuivrait tant qu'il resterait de l'eau à solidifier. Une des conséquences de cette congélation serait la mort de tous les êtres vivants contenus dans le lac. D'autres malheurs s'y ajouteraient encore, qui sont tous prévenus par cette disposition tout à fait exceptionnelle, qui veut qu'à un certain moment l'eau la *plus froide* devienne *plus légère*, flotte à la surface du lac et s'y congèle, formant ainsi une surface solide qui protége les êtres vivants placés au-dessous.

Voici ce qu'écrit à ce sujet Rumford, un des savants les plus pratiques qui aient existé : — « Il ne me semble pas que de tous les phénomènes accessibles à la sagacité humaine, dans les limites si étendues de la création visible, il y en ait un seul qui donne une preuve plus frappante ou plus palpable de la sagesse du Créateur, et du soin tout particulier qu'il a pris, dans l'arrangement général de l'univers, pour y conserver la vie animale.

« Qu'il me soit permis de faire appel à l'attention de mes lecteurs, tandis que je m'efforce d'examiner ce sujet si intéressant; qu'il me soit permis en même temps d'invoquer leur bonne foi et leur indulgence. Je sens le dan-

ger auquel s'expose un mortel qui a la témérité d'expliquer les desseins de la sagesse infinie. L'entreprise est aventureuse, mais elle est assurément permise.

« Si la Providence n'était intervenue en cette occasion, d'une manière que l'on peut bien considérer comme *miraculeuse*, toute l'eau douce qui se trouve dans la zone glaciale aurait inévitablement été gelée à une très-grande profondeur en hiver, et toutes les plantes et tous les arbres y auraient péri. »

Dans bien des pages de son livre, Rumford continue ainsi à expliquer les voies et les intentions du Tout-Puissant; et il n'hésite pas à parler en termes très durs de ceux qui ne peuvent partager ses idées. Il les appelle endurcis et dégradés. Et ceci prouve bien ce fait, trop souvent oublié, que le plaisir ou la consolation que donne une croyance, la chaleur ou l'exaltation de sentiments qu'elle produit, ne sont nullement des garanties de la vérité de cette croyance. En effet tout le plaisir et l'enthousiasme que ce sujet inspirait à Rumford, tout son courroux contre ceux qui ne partageaient pas ses opinions, sont fondés sur une erreur.

L'eau *n'est pas* une exception isolée à une loi d'ailleurs générale. D'autres molécules que celles de ce liquide, exigent plus de place à l'état solide et cristallin qu'à l'état liquide qui le précède immédiatement. On peut citer le fer comme exemple de ce phénomène. Le fer solide surnage dans le fer fondu, tout comme la glace surnage dans l'eau. Le bismuth en est un exemple encore plus frappant, et nous pourrions faire éclater une bombe par la solidification du bismuth aussi facilement que par celle de l'eau. Ici, il ne s'agit pas de conserver la vie des poissons, et cependant, la règle est la même.

Il me répugne de les nommer en même temps que Rumford, mais on me dit que, de notre temps, il y a des hommes qui prétendent trouver les consolations de la religion dans une superstition plus méprisable que toutes celles qui ont jusqu'ici dégradé les esprits des peuples civilisés. Ainsi le *bonheur* d'une foi et la *vérité* de cette foi sont deux choses entièrement différentes.

Il existe une harmonie nécessaire entre la vie et les conditions de la vie. C'est là une vérité évidente, car, sans les conditions convenables, la vie ne saurait exister. Mais la vie et ses conditions nous montrent également l'action d'une puissance impénétrable. Nous ne connaissons ni son origine ni sa fin. Et la présomption, pour ne pas dire la dégradation, est du côté de ceux qui mettent sur le trône de l'univers une image agrandie d'eux-mêmes, et ne font de ses actions qu'une imitation colossale des leurs.

*Mécanisme de la congélation de l'eau* — Mais revenons à notre science. Comment devons-nous nous représenter cette dilatation de l'eau qui se congèle? Par quelle opération les molécules exigent-elles, avec une force aussi irrésistible, plus de place à l'état solide qu'à l'état liquide qui précède immédiatement? Dans tous les cas de ce genre, il nous faut tirer nos idées du monde des sens, et les faire passer ensuite à un monde au-dessus de la portée des sens.

Vous n'avez pas oublié ce que nous avons dit au sujet des *pôles des atômes;* vous vous rappelez comment l'idée de polarité en est venue à être appliquée aux cristaux. Avec ces souvenirs présents à la mémoire, il ne vous sera pas fort difficile de comprendre comment l'augmentation de volume peut accompagner l'acte de la cristallisation.

Voici devant nous plusieurs aimants. Comme ils sont matériels, ils sont soumis à l'action de la pesanteur, et, s'ils étaient parfaitement libres, ils graviteraient l'un vers l'autre, en vertu de l'attraction de la pesanteur.

Mais ce n'est pas seulement là de la matière, c'est de la matière magnétique. Ces aimants n'agissent pas l'un sur l'autre seulement par la force de pesanteur, mais aussi par la force du magnétisme. Supposons-les placés à une certaine distance l'un de l'autre, et admettons que leurs mouvements soient parfaitement libres. La force de pesanteur se fait d'abord sentir, et les attire l'un vers l'autre. Pendant quelque temps, la force magnétique qui vient des pôles, est insensible; mais, quand les aimants sont arrivés à un certain degré de proximité, la force polaire entre en jeu. Les points qui s'attirent se rapprochent, ceux qui se repoussent s'écartent, et il est facile de voir que cette action pourra produire un arrangement des aimants tel qu'ils occupent plus de place. Supposons-les entourés d'une boîte qui les contient exactement au moment où la force polaire commence à agir. Il est facile de voir que, dans l'arrangement qui suit, les angles et les extrémités repoussés des aimants pourront presser contre les parois de la boîte, et pourront même faire éclater celle-ci, si les forces en jeu sont assez considérables.

Voilà donc une conception que nous pouvons appliquer aux molécules de l'eau. Ces molécules, comme les aimants, sont soumises à deux forces distinctes. Pendant quelque temps, tandis que le liquide se refroidit, elles s'approchent les unes des autres, en vertu de l'attraction générale qui existe entre elles. Mais à un certain point, de nouvelles forces, les unes attractives, les autres répulsives, *émanant de points spéciaux* des molécules, en-

trent en jeu. Les points qui s'attirent se rapprochent; ceux qui se repoussent, s'écartent les uns des autres. Ainsi les molécules tournent et prennent une autre disposition, exigeant pour le faire plus d'espace, et triomphant de toutes les résistances ordinaires par l'énergie de leur action. Telle est, d'une manière générale, l'explication de la dilatation de l'eau lors de sa solidification; et il ne serait pas difficile de construire un appareil pour faire mieux ressortir le phénomène.

## CHAPITRE IV

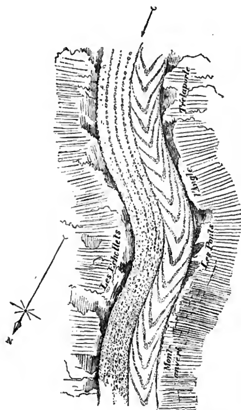
BANDES TERREUSES DE LA MER DE GLACE. — GLACES ET BANQUISES DES RÉGIONS ARCTIQUES. — L'ÆGGISCHHORN. — LA MÄRGELIN SEE ET SES BANQUISES. — LE BEL ALP. — LE RIFFELBERG. — LE GLACIER DE GÖRNER.

*Bandes terreuses de la Mer de Glace.* — Passons du grand soleil dans une chambre modérément éclairée; pendant quelque temps, tout paraît si obscur que nous ne distinguons pas clairement les objets qui se trouvent dans la chambre. Le nerf optique, qui a été frappé avec violence par les ondes lumineuses, se trouve engourdi, et il lui faut du temps pour recouvrer sa sensibilité.

C'est pour cette raison même que je choisis l'heure actuelle pour faire une observation spéciale sur la Mer de Glace. Le soleil a disparu derrière la crête de Charmoz, et la surface du glacier est dans l'ombre. Notre journée est presque terminée, mais nous avons encore assez d'énergie pour gravir les pentes voisines du Montanvert, jusqu'à mille pieds ou environ au-dessus de la glace.

Nous abaissons maintenant nos regards sur le glacier, et nous le voyons moins en raccourci que du Montanvert. Nous remarquons les matières terreuses qui en couvrent

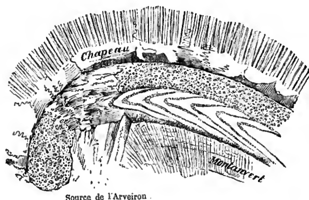
le bord oriental, et qui proviennent de la réunion de ses moraines médianes. Nous voyons la surface du glacier du Géant, laquelle est relativement propre; mais nous re-




Aspect de la surface du glacier du Géant.

marquons sur cette surface une apparence que nous n'y avions pas vue jusqu'ici. Elle est traversée par une série de bandes grises recourbées, qui se suivent régulièrement de Trélaporte vers le bas du glacier. De notre position

actuelle, nous comptons dix-huit de ces bandes. (Voir la figure ci-contre, page 126.)



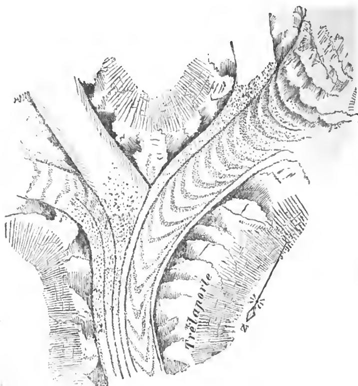
Source de l'Arveiron.

Ce sont là les bandes terreuses de la mer de Glace ; c'est le professeur Forbes qui les a observées le premier en 1842.

Ces bandes s'étendent vers le bas du glacier plus loin que nous ne pouvons voir ; et si nous traversons la vallée de Chamouni, et que nous gravissions la montagne du côté opposé, jusqu'à un point près de la petite auberge, appelée la Flégère, nous dominerons l'extrémité du glacier, et nous verrons se compléter la série des bandes. Nous remarquons que, sur toute la longueur, elles sont limitées à la partie du glacier qui vient du Col du Géant.

Nous allons remonter jusqu'à l'origine de ces bandes. Vous savez quelle vue belle et complète du glacier et du Col du Géant on obtient de la station de la Fente, au-dessus de Trélaporte. Nous allons encore une fois y monter ; et de là nous pourrons voir la série de bandes s'étendre en descendant jusqu'au Montanvert, et en remontant jus-

qu'à la base de la cascade de glace du glacier du Géant. La cascade joue évidemment un rôle dans leur formation.




Comment cela? Ce rôle est assez simple. Le glacier, nous le savons, est brisé transversalement au sommet de la chute de glace, et descend la pente en formant une série de grandes arêtes transversales. Au pied de la chute, les crevasses se referment, mais les arêtes subsistent en partie, et forment des protubérances qui traversent le

glacier comme d'énormes rides. Ces protubérances vont en se courbant de plus en plus, à cause du mouvement plus rapide dont le centre est animé, et les dépressions qui existent entre elles forment des réceptacles où s'accumulent la boue légère et les débris apportés par les petits ruisseaux qui tombent des pentes voisines.

Les protubérances s'affaissent peu à peu sous l'action des rayons du soleil, de sorte qu'elles ont entièrement disparu, bien avant d'arriver à Trélaporte. Il n'en est pas de même des matières terreuses qu'elles ont recueillies : elles continuent à former des bandes transversales sur la surface plane du glacier. En outre, à Trélaporte, où la vallée se retrécit, les bandes deviennent bien mieux accusées et prennent le caractère qu'elles conservent ensuite sur toute la Mer de Glace. D'autres glaciers à cascades présentent aussi des bandes de même nature.

*Glaces et banquises des régions arctiques.* — Nous voici maintenant équipés intellectuellement pour entreprendre une campagne sur un autre territoire. L'eau devient plus dense et plus difficile à congeler quand elle contient du sel en dissolution. L'eau de mer est donc plus dense que l'eau douce, et la mer du Groënland exige pour se congeler une température d'environ deux degrés plus basse que l'eau douce. Si on la concentre de manière à lui donner une densité de 1,1045, l'eau de mer exige pour se congeler une température de — 10, 18 centig.[1].

Mais, même lorsque l'eau est saturée de sel, la force de cristallisation rejette soigneusement le sel, et se consacre tout entière à la congélation de l'eau. C'est pour cela que la glace de l'eau de mer, en fondant, donne de l'eau douce.

1. Scoresby.

Les seules particules salines qui existent dans cette glace, sont celles qui ont pu se trouver prises mécaniquement dans ses pores. Elles n'ont aucune part à la structure du cristal.

Cet *exclusivisme*, si je puis parler ainsi, des molécules d'eau ; ce rejet complet de tout élément étranger dans les édifices qu'elles construisent, est poussé à un degré surprenant. L'acide sulfurique a pour l'eau une si grande affinité, que c'est un des agents les plus énergiques employés en chimie pour dessécher l'air. Et cependant, comme l'a bien montré Faraday, quand on fait geler un mélange d'acide sulfurique et d'eau, le cristal qui se forme est absolument pur et sans acide. L'eau seule a subi l'action de la force de cristallisation.

Tous les hivers, dans les régions arctiques, la mer gèle et se couvre d'une voûte de glace d'une grande étendue et d'une énorme épaisseur. Les chaleurs de l'été et le mouvement des vagues brisent cette glace, dont les fragments sont dispersés par les vents et entraînés par les courants. Ils s'entrechoquent, s'écrasent et s'amoncèlent les uns sur les autres, constituant ainsi le danger le plus sérieux qui menace les explorateurs des mers polaires.

Mais parmi les glaçons plats ainsi entraînés, on voit flotter des masses plus énormes encore, qui ont une origine entièrement différente. Ce sont les *banquises* des mers arctiques. Elles s'élèvent souvent à plusieurs centaines de pieds au-dessus de l'eau, et le poids de la partie submergée est environ sept fois celui de la partie visible.

Il est rare que les premiers observateurs des grands phénomènes de la nature n'accordent pas une part plus que raisonnable à l'étonnement et à l'imagination. Mais

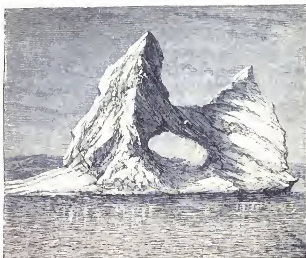


Fig. 1. — Photographie d'une banquise arctique.



Fig. 2. — Masse observée sur le glacier des Bossons.



afin de ne laisser place à aucune erreur due à cette cause, je citerai comme autorité le journal d'un explorateur calme et intrépide des mers arctiques, Sir Léopold Mc Clintock. Il décrit une banquise de 250 pieds (76m) de haut, qui était échouée dans un endroit où la mer avait une profondeur de 500 pieds (152m). Il fallait donc que la hauteur totale de la banquise fût de 750 pieds (228m), ce qui n'est pas rare pour les grandes banquises.

De la baie de Baffin, ces masses énormes passent dans le détroit de Davis, et de là dans l'océan Atlantique. Il faut beaucoup de chaleur pour liquéfier la glace ; aussi la fonte des banquises est-elle si lente, que les plus grosses résistent quelquefois encore après avoir été entraînées à près de 2000 milles de l'endroit qui les a vues naître.

Quel est cet endroit ? Ce sont les glaciers des régions arctiques. Du haut des montagnes de l'intérieur, les neiges durcies glissent dans les vallées et les remplissent de glace. Les glaciers ainsi formés se meuvent et descendent sans cesse comme ceux de la Suisse. Mais les glaciers arctiques arrivent à la mer, et y entrent ; souvent même ils en labourent le fond et y tracent des moraines sous-marines. Minés par l'action des vagues, et incapables de résister à l'effort exercé par leur propre poids, ils se rompent transversalement, et laissent tomber dans l'océan des masses énormes. Quelques-unes vont s'échouer sur les côtes voisines, où elles se maintiennent souvent pendant plusieurs années. D'autres s'acheminent vers le sud, et finissent par se dissoudre dans les eaux chaudes de l'Atlantique. La figure 1 de la planche VI a été copiée sur une photographie prise par M. Bradford dans une des dernières expéditions aux mers polaires. La figure 2 représente une masse de glace observée sur le Glacier

des Bossons. Leur ressemblance annonce leur communauté d'origine.

*L'Æggischhorn, La Märgelin See et ses banquises.* — Je ne veux cependant pas que vous quittiez la Suisse sans voir les banquises qu'elle peut montrer ; d'ailleurs j'ai aussi à vous faire connaître des glaciers encore plus imposants que la Mer de Glace. En cherchant la source du Rhône, vous avez déjà remonté la vallée de ce fleuve. Retournons ensemble à cette vallée ; arrêtons-nous à la petite ville de Viesch, et de là rendons-nous tout droit à l'excellente hôtellerie qui s'élève sur le flanc de l'Æggischhorn. C'est là que nous allons établir notre quartier général, pendant que nous explorerons le roi des fleuves de glace de l'Europe, — le grand glacier d'Aletsch.

Avec le plus long de ses affluents, ce superbe fleuve de glace a environ vingt milles de long ; et, vers le milieu de son cours, il a près d'un mille et quart d'une rive à l'autre. Les plus grandes montagnes de l'Oberland bernois, la Jungfrau, la Monch, le Trugberg, l'Aletschhorn, le Breithorn, le Glethcserhorn, et bien d'autres cimes élevées, alimentent ses névés. De trois grandes vallées situées au cœur des montagnes, ces névés tombent, et se réunissent pour former le tronc de l'Aletsch en un endroit qu'un montagnard d'esprit a nommé la « Place de la Concorde de la nature. » Si cette expression signifie grandeur calme, beauté de formes et pureté de teintes, elle est bien à sa place.

Notre hôtel n'est pas au haut même de l'Æggischhorn, mais nous partons dès le matin, et une marche rapide nous suffit pour atteindre le sommet. De là nous voyons le glacier qui, semblable à un large fleuve, s'étend en haut jusqu'à la base de la Jungfrau, et en bas plus loin encore

que le Bel Alp. En se portant plus bas encore, nos regards rencontrent le plus beau groupe de montagnes de toutes les Alpes, — je veux dire le Dom et les pics voisins, le Matterhorn et le Weisshorn. C'est là un spectacle vraiment grand et imposant, à l'effet duquel viennent encore ajouter une multitude de pics et de crêtes que nous ne pouvons nommer ici.

Mais tout au fond, à notre droite, au milieu des montagnes qui l'abritent, se présente un objet dont la beauté surprend ceux qui n'y sont pas préparés. C'est, dans le lointain, le flanc nu du glacier, qui présente à la vue de brillantes falaises de glace, de soixante ou soixante-dix pieds de haut. On dirait qu'en cet endroit l'Aletsch cherche, sans y parvenir, à passer un bras par une vallée latérale. Autrefois en effet, ce bras passait par cette vallée; mais maintenant il se brise constamment tout près du corps du glacier, et un grand espace, que la glace couvrait autrefois, est rempli par les eaux qui proviennent de sa fonte. Ces eaux forment un lac du plus beau bleu, qui arrive jusqu'à la base des falaises de glace, les mine comme les vagues de l'océan arctique minent les glaciers du Groënland, et reçoit les masses qui se brisent et s'en détachent. Tandis que nous contemplons le lac, nous voyons flotter à sa surface tranquille de petites banquises, qui ont l'air d'autant de cygnes au plumage blanc, chacun accompagné de son ombre.

C'est là le beau petit lac de Märgelin, ou, comme on l'appelle dans le pays, la Märgelin See. Vous voyez l'eau qui rejaillit, et aussitôt après vous entendez le bruit que fait la glace en plongeant. Le glacier vient de se briser sous nos yeux, et il a laissé tomber une banquise dans le lac. Sur toute la surface du lac l'eau est en mouvement, et

représente ainsi sur une petite échelle les vagues énormes produites par les grandes îles de glace qui tombent des glaciers arctiques. Regardez l'extrémité du lac. Elle est encombrée des restes de grands glaçons maintenant échoués, qui y ont été en partie poussés par le vent, et en partie lentement amenés par l'eau qui se dirige insensiblement de ce côté.

Supposons un moment que nous soyons en bas, sur le bord du lac, comme il m'est déjà une fois arrivé de m'y trouver. Vers le milieu se trouve une grande banquise isolée. Tout à coup nous entendons un bruit semblable à celui d'une cataracte; nous regardons du côté de la banquise, et nous voyons l'eau ruisseler de ses flancs. D'où vient cette eau? La fonte de sa partie inférieure a peu à peu déplacé le centre de gravité de la montagne de glace; elle perd l'équilibre, et, en se renversant, elle entraîne avec elle une énorme quantité d'eau qui se précipite en cascade le long de ses flancs. Remarquons que la glace, qui était, un instant auparavant, aussi blanche que la neige, présente maintenant la couleur bleu pâle qui caractérise la glace bien compacte. Mais l'action du soleil va bientôt la rendre blanche comme nous la voyions tout à l'heure. Les banquises plus énormes encore des mers polaires se renversent quelquefois de la même façon. Une semaine passée sur l'Æggischhorn ne serait perdue ni pour le plaisir ni pour l'instruction.

*Le Bel Alp.* — De l'Æggischhorn je pourrais vous mener, en suivant la crête de montagne qui longe la *Betten See*, dont nous avons déjà goûté les poissons, jusqu'au *Rieder Alp*, et de là, en traversant l'Aletsch, jusqu'au *Bel Alp*. C'est là une belle excursion dans les montagnes; mais nous aimons mieux suivre le glacier qui nous mènera jus-

qu'en bas. Dans certains endroits, le chemin est facile; dans d'autres, ce n'est pas un jeu que de se tirer du milieu de tant de crevasses. Mais le courage, le sang-froid et la sûreté de coup d'œil qui nous ont jusqu'ici tirés de tous les pas difficiles, ne nous abandonnent pas en cette occasion. Nous franchissons les fissures, et, après quatre heures d'un exercice salutaire, nous nous trouvons sur la pente qui mène à l'hôtel du Bel Alp.

C'est là une des plus belles haltes des Alpes. Devant nous l'Aletsch étend la dernière de ses nappes de glace, coupée dans toute sa longueur par une grande moraine médiane, et qui va jusqu'à l'Æggischhorn et à la Märgelin See. Tout près se trouve la gorge sauvage de la Massa, dans laquelle la tête du glacier repose étendue comme celle d'un serpent. Le système des glaciers de l'Oberaletsch n'est pas bien loin non plus. Au-dessus de nous s'élève un pic appelé le Sparrenhorn; l'explorateur le plus novice peut y arriver, et une marche d'un peu plus d'une heure va nous mener jusqu'au sommet. Nous voyons alors à nos pieds le glacier de l'Oberaletsch, qui présente à nos yeux la moraine médiane la mieux dessinée. Près de nous est la masse énorme de l'Aletschhorn, bordée de ses névés et terminée au sommet par des roches brunâtres. D'autres pics presque aussi imposants l'entourent de tous côtés. Tout près c'est le Nesthorn; puis, en portant nos regards vers l'ouest, nous rencontrons la superbe triade que nous avons déjà signalée, le Weisshorn, le Matterhorn et le Dom. Jetez un coup d'œil sur les crevasses du glacier qui s'étend à nos pieds. A son extrémité, il tombe le long d'une pente très-escarpée, et se trouve coupé de fentes nombreuses. Mais les crevasses s'ouvrent avant le bord de l'escarpement, et l'on remarque que les

crevasses du bord et les crevasses transversales produisent par leur réunion un système de fissures curvilignes, dans lesquelles la convexité des courbes est dirigée vers le haut. Vous avez déjà vu l'explication mécanique de ce fait. Les tables de glacier sont nombreuses aussi et fort belles. Je voudrais pouvoir m'arrêter ici une semaine avec vous, à explorer les glaciers actuels, et à chercher les vestiges de ceux qui ont disparu.

*Le Riffelbery et le Glacier de Görner.* — Bien que les mesures que nous avons prises et les observations que nous avons faites sur la Mer de Glace représentent plus ou moins toutes celles que l'on peut prendre ou recueillir autre part, je tiens à vous faire connaître le grand système des glaciers qui descendent des pentes septentrionales du Mont Rose et des montagnes adjacentes. Du Bel Alp nous pouvons descendre à Brieg, et de là gagner Visp en voiture ; mais nous préférons tous deux les hauteurs où le vent souffle librement, et nous tournons le promontoire du Nessel, jusqu'à ce que nous nous trouvions au-dessus de la vallée du Rhône, en face de Visp. De ce village une heure de marche nous amène à Stalden, où la vallée se bifurque : un de ses embranchements passe à Saas et franchit le Mont Moro ; l'autre traverse Saint-Nicolas et aboutit à Zermatt. C'est cette dernière route que nous prenons.

Nous arrivons à Zermatt, mais sans nous y arrêter. Sur la crête de la montagne, à 4000 pieds au-dessus de la vallée, nous apercevons l'hôtel du Riffelberg ; c'est là que nous allons. Juste en face de nous se dresse le pic du Matterhorn, dont il semble incroyable qu'un pied humain ait jamais pu fouler le sommet. Le courage et l'adresse y sont cependant parvenus, mais la première ascension a coûté

bien cher. Dans le petit cimetière de Zermatt nous avons vu les tombes de deux des plus grands montagnards que la Savoie et l'Angleterre aient vus naître; ils sont tombés du Matterhorn en 1865, avec deux braves jeunes gens qui les accompagnaient.

Au Riffelberg nous sommes à une heure de marche du fameux Görner Grat, d'où l'on voit si bien les glaciers du Mont Rose. Mais c'est là bas sur cet énorme piton de rocher entièrement nu, appelé le Riffelhorn, que nous voulons nous poster. Ce que la station de la Fente est pour la Mer de Glace, le Riffelhorn l'est pour le glacier de Görner et ses affluents. Du côté le moins élevé, le rocher est inaccessible, quelque facile qu'il puisse d'abord sembler à gravir. Là aussi, en 1865, un autre brave cœur a péri, et il repose à côté de ses compatriotes dans le cimetière de Zermatt. Nous passons auprès d'un petit lac, appelé la Riffel See, et nous allons attaquer le Riffelhorn du côté le plus élevé. Il faut être vraiment agile pour atteindre le sommet; mais en revanche, une fois arrivés, nous avons devant nous une vue vraiment extraordinaire.

En face de nous s'élève, avec ses pics nombreux, la masse énorme du Mont Rose, dont nous pouvons étudier les neiges depuis la base jusqu'au sommet. A droite, nous avons la belle crête du Lyskamm, également chargée de neige; entre les deux s'étend le glacier occidental du Mont Rose. Ce glacier en rejoint un autre qui sort des vastes champs de neige de la Cime des Jazzi; ils s'unissent pour former le glacier de Görner, et c'est à leur point de jonction que commence la moraine médiane ordinaire. En deça du Lyskamm s'élèvent deux belles éminences couvertes de neige, que l'on appelle Castor et

Pollux; puis viennent les pics sombres du Breithorn, puis le Petit Matterhorn, et enfin la large plaine de neige du Théodule, au milieu de laquelle s'élève le Grand Matterhorn, et que nous traverserons plus tard ensemble pour aller en Italie.

Les vallées et les dépressions qui séparent ces montagnes sont remplies de glaciers. Des flancs du mont Castor descend le glacier des Jumeaux; de ceux de Pollux vient le glacier Schwartze (glacier noir); du Breithorn, le glacier de Trifti; ensuite le glacier du Petit Mattherhorn et celui de Théodule; et chacun, en se soudant au tronc principal, apporte avec lui sa moraine médiane. De l'endroit où nous sommes postés, nous pouvons compter neuf de ces moraines. Et ici, plus encore que sur la Mer de Glace, nous constatons la facilité avec laquelle la glace cède à la pression : en effet, sur le tronc principal du Görner, les larges névés, par l'effet de la pression, se transforment en bandes blanches, qui se rétrécissent de plus en plus entre les moraines de leurs bords, et finissent par disparaître sous les débris qu'elles charrient.

Sur les deux affluents principaux nous remarquons aussi des moraines qui semblent surgir du corps du glacier, et se montrent au milieu de la glace, sans se rattacher à aucune source située plus haut. En effet, ce sont d'abord des moraines sous-glaciaires, dont les débris ont été détachés de promontoires de rochers entièrement couverts de glace. Ces moraines restent pendant quelque temps cachées dans le corps du glacier, et ne paraissent à la surface que lorsque la glace qui les recouvrait a été fondue par le soleil.

C'est ici le lieu de citer une croyance qui a longtemps eu cours parmi les habitants des régions élevées des Al-

pes : ils attribuaient aux glaciers le pouvoir de rejeter de leur sein toutes les impuretés. Sur la Mer de Glace, nous avons remarqué de grandes plaques d'argile et de boue noire provenant évidemment du corps du glacier ; nous pouvons donc comprendre combien cette idée du rejet



Glacier de Görner, avec le Mont Rose au fond et le Riffelhorn à gauche.

des impuretés devait venir naturellement à des esprits peu observateurs. Mais le pouvoir que l'on attribue ainsi au glacier, n'est en réalité que le pouvoir du soleil, qui fond la glace au-dessus des impuretés cachées, et les ramène au jour, comme il est arrivé pour les corps des guides sur le glacier des Bossons.

Il n'est point de glacier qui présente plus d'objets intéressants que celui de Görner : cônes de sable, plateaux de glacier, gorges profondes creusées par les eaux et surmontées de quelque gros rocher qui forme un pont fantasti-

que ; moulins, et quelquefois même voûtes de glace, d'une grandeur et d'une beauté extraordinaires. A la partie inférieure du glacier nous remarquons la disparition partielle de la moraine médiane dans les crevasses, et sa réapparition au pied de la pente. Pendant bien des années ce glacier a avancé régulièrement dans la prairie située devant lui, labourant le sol, et renversant les châlets sur son passage. Il suit maintenant le mouvement rétrograde général que l'on constate depuis quinze ans pour les glaciers des Alpes. Comme d'ordinaire, une rivière, la Visp, sort d'une voûte à l'extrémité du glacier de Görner.

# CHAPITRE V

ANCIENS GLACIERS DE LA SUISSE. — BLOCS ERRATIQUES. — ANCIENS GLACIERS DE L'ANGLETERRE, DE L'IRLANDE, DE L'ÉCOSSE ET DU PAYS DE GALLES.

*Anciens glaciers de la Suisse.* — Vous n'avez pas oublié l'ancienne moraine qui nous a si fort intéressés lors de notre première ascension de la source de l'Arveiron; elle nous a laissé entrevoir ce fait, qu'à une certaine époque de son histoire la Mer de Glace avait des dimensions bien plus considérables que celles qu'elle présente maintenant. L'expérience que nous avons acquise depuis nous a permis de suivre les traces de l'action de la glace bien plus loin que nous n'eussions pu d'abord le supposer.

Près du glacier actuel, par exemple, nous avons vu à plusieurs reprises le flanc de la montagne laissé à découvert par la retraite de la glace. Ce fait est surtout très-évident en ce moment, parce que, depuis quinze ou seize ans, les glaciers des Alpes ont constamment diminué, de sorte qu'il n'est pas rare de voir les rochers des bords rester à découvert sur une hauteur de cinquante, soixante, quatre-vingts ou même cent pieds au-dessus du glacier

actuel, Sur les rochers ainsi exposés à la vue, on voit les traces évidentes du glissement ; et nos yeux et notre esprit sont maintenant tellement habitués à saisir ces apparences, que nous pouvons désormais reconnaître, sans crainte de nous tromper, les traces des glaciers, ou les moraines, anciennes ou modernes, partout où elles se montrent.

Cependant les hauteurs auxquelles nous avons trouvé ces traces pourraient bien faire douter des conclusions auxquelles nous sommes arrivés. Auprès de la gorge de Massa, à mille pieds au-dessus du glacier d'Aletsch actuel , nous avons trouvé une grande moraine ancienne. En descendant les prairies situées entre le Bel Alp et Platten, nous en avons trouvé une autre, maintenant couverte d'herbe, et qui porte un village sur sa croupe. Mais je veux vous faire visiter une région où ces traces se montrent sur une échelle encore plus grande et plus imposante. Nous avons déjà fait une excursion rapide dans la vallée de Hasli et sur le glacier de l'Aar. Prenons ce glacier pour point de départ. En descendant vers le Grimsel, nous franchissons à chaque instant des rochers arrondis, cannelés et marqués d'une manière singulière. Ces traces sont évidemment l'œuvre assez récente du glacier. Mais nous approchons du Grimsel, et, au tournant de la vallée, nous nous trouvons devant le flanc de granit de la montagne, taillé à pic. Ici nous voyons des traces, aussi claires que surprenantes, des anciens glaciers. Les rochers sont si durs que non-seulement les cannelures et le poli, mais encore les moindres rayures, qui remontent à des milliers d'années, sont aussi évidents que s'ils dataient d'hier. Nous retrouvons ces traces jusqu'à la hauteur de deux mille pieds au-dessus du fond actuel de la

vallée. Il est hors de doute qu'un fleuve de glace de cette profondeur étonnante a autrefois coulé dans la vallée de Hasli.

Plus loin est le sommet du Siedelhorn; et, si nous le gagnons, nous verrons le glacier de l'Unteraar s'étendre à nos pieds comme une carte. De cette position élevée nous distinguons, parfaitement marquée sur les flancs de la montagne, la hauteur à laquelle le glacier arrivait autrefois. La partie de la montagne que la glace a usée, se distingue parfaitement des crêtes crevassées qui, à cette époque reculée, s'élevaient au dessus de la surface du glacier, et qui devaient alors présenter l'aspect de crêtes et de pics isolés au milieu d'un océan de glace.

Nous descendons maintenant le Siedelhorn pour rentrer dans la vallée de Hasli, le long de laquelle nous suivons les traces de la glace, sur une distance de plus de vingt milles : ce sont des précipicee cannelés, des plaques polies et des dômes de granit parfaitement arrondis. Ces traces sont visibles à une grande hauteur, à droite et à gauche, sur les flancs de la montagne. Nous suivons les vestiges du glacier jusqu'au lac de Brientz; et si nous prolongions nos recherches, nous apprendrions qu'à l'époque dont nous nous occupons, les bassins de tous les lacs de cette région supportaient la pression d'immenses masses de glace.

Au lieu de la vallée de Hasli, nous pourrions prendre celle du Rhône. Les traces d'un grand glacier qui remplissait autrefois cette vallée sont visibles jusqu'à Martigny, qui se trouve à €0 milles du glacier actuel. A Martigny, le glacier du Rhône se grossissait d'un autre glacier qui descendait du mont Blanc, et les masses soudées s'avançaient, en rabotant les montagnes à droite et à gauche, jusqu'au lac de Genève, dont elles remplissaient

entièrement le bassin. D'autres preuves démontrent que le glacier ne se terminait pas là, mais s'étendait à travers le pays jusqu'à ce qu'il rencontrât la barrière du calcaire des monts Jura.

*Blocs erratiques.* — Quelles sont ces autres preuves? Nous avons vu d'énormes rochers en équilibre sur les moraines de la Mer de Glace, et nous savons maintenant qu'à moins qu'ils ne soient fendus et morcelés par la gelée, ces rochers seront, dans bien longtemps peut-être, transportés par le glacier des Bois dans la vallée de Chamouni. Vous avez déjà appris que ces blocs révèlent souvent la nature minéralogique des montagnes entre lesquelles le glacier a passé; que celui-ci apporte ainsi dans la vallée des échantillons tout à fait différents des rochers parmi lesquels ils finissent par s'arrêter : c'est ce qui arrive d'une manière frappante pour les blocs erratiques échoués le long du Jura.

En effet, le Jura lui-même, nous l'avons déjà dit, se compose de roches calcaires; il ne se trouve dans ces montagnes aucune trace de granit natif. Malgré cela, le long du flanc de la montagne, au-dessus de la ville de Neufchâtel, et à environ 800 pieds au-dessus du lac de Neufchâtel, nous trouvons une ceinture de blocs de granit qui proviennent du mont Blanc. Et quand nous enlevons la terre végétale du flanc de la montagne à côté de ces blocs, nous trouvons sur les roches calcaires les écorchures faites par l'ancien glacier qui a apporté le granit.

Le plus fameux de ces blocs, appelé la Pierre à Bôt, a 50 pieds de long, 40 de haut, et 20 de large. Si nous faisons le produit de ces trois nombres, nous trouvons que le volume du bloc est de 40000 pieds cubes (plus de 110 m. cubes).

Mais c'est là peu de chose auprès de quelques-uns des rochers transportés même par des glaciers modernes. Visitons-en encore un autre. Nous avons déjà été à Stalden, où la vallée se bifurque, l'embranchement de droite allant à Saint-Nicolas et à Zermatt, et celui de gauche à Saas et au mont Moro. A trois heures de Saas, nous atteignons l'extrémité du glacier d'Allelein, qui ne remplit pas la vallée principale, mais qui la traverse de manière à y arrêter les eaux comme une digue. Au-dessus de cette digue de glace on voit le lac Mattmark, et, à l'extrémité supérieure du lac, une petite auberge bien connue de ceux qui ont visité le mont Moro.

Tout près de cette auberge se trouve le plus gros bloc que nous ayons jamais vu. Il a 240000 pieds cubes (plus de 6700 m. cub.). Si nous regardons de l'autre côté de la vallée, nous apercevrons un glacier dont l'extrémité est actuellement à un demi-mille du bloc. La pierre est, je crois, de la serpentine, et si nous explorions ensemble le glacier de Schwartzberg jusqu'à son point de départ, nous y trouverions aussi celui de cette pierre gigantesque. Il y a quarante-quatre ans, quand le glacier arrivait encore jusqu'à l'endroit maintenant occupé par le bloc, il y déposa ce pesant fardeau, puis se retira. Tout près de là se trouve un autre rocher apporté par la glace, qui paraîtrait énorme, s'il n'avait l'air d'un nain auprès de son voisin gigantesque.

On pourrait multiplier à l'infini les preuves de ce genre. Ainsi, en ce moment même, des hommes distingués, tels que le professeur Favre de Genève, s'occupent de déterminer, d'après la distribution des blocs erratiques, l'étendue des anciens glaciers de la Suisse. Mais c'est un ingénieur nommé Venetz qui a le premier appelé l'atten-

tion sur ces preuves, et qui a annoncé au monde incrédule l'énorme étendue des anciens glaciers. Plus tard, M. Agassiz a développé et merveilleusement étendu cette découverte. Peut-être l'observation la plus intéressante faite sur les glaciers anciens est-elle due au Docteur Hooker, qui, dans un voyage récent en Palestine, a reconnu que les fameux cèdres du Liban croissent sur d'anciennes moraines.

*Anciens glaciers de l'Angleterre, de l'Irlande, de l'Ecosse, et du pays de Galles.* — A l'époque où les glaciers atteignaient ce développement extraordinaire dans les Alpes, plusieurs autres parties de l'Europe, où il n'existe plus de glaciers, en étaient couvertes. Dans les Highlands de l'Ecosse, au milieu des montagnes de l'Angleterre, de l'Irlande et du pays de Galles, les anciens glaciers ont gravé leur histoire aussi clairement que dans les Alpes elles-mêmes. Je voudrais parcourir avec vous le Borrodale dans le Cumberland, ou les vallées voisines de Bethgellert dans le pays de Galles. Sous les beautés du paysage actuel, nous découvririons les vestiges d'une époque où tout le pays était couvert de glaciers. C'est au professeur Ramsay que nous devons les écrits les plus remarquables sur les anciens glaciers du pays de Galles.

Nous connaissons les *Reeks* de *Magillicuddy* comme étant les grands condensateurs des vapeurs de l'Atlantique. A l'époque dont nous parlons ici, cette humidité ne retombait pas en pluie douce et fertilisante, mais bien sous la forme de neiges qui alimentaient de grands glaciers. Une chaîne de lacs est maintenant le principal attrait de Killarney : il y a le lac inférieur, le lac du milieu et le lac d'en haut. Supposons que nous ramions vers l'extrémité du lac d'en haut, avec le mont Pourpre à notre droite. Le

souvenir de nos excursions dans les Alpes vous fera nécessairement appeler mon attention sur les traces marquées sur les rochers, traces que vous attribuerez sans hésiter à l'action des glaciers. Ainsi mis sur le qui-vive, nous débarquons à l'extrémité du lac, et nous remontons la Vallée Noire jusqu'au pied des *Reeks* de Magillicuddy : tout vous portera à conclure que cette vallée porte des traces aussi surprenantes que celle de Hasli.

Nous nous rembarquons et retournons à l'auberge en suivant le lac d'en haut. Ses îlots ont maintenant un nouvel intérêt pour nous. Les uns sont nus, les autres couverts entièrement ou en partie d'une végétation luxuriante; mais tous portent les traces des glaciers. L'action des siècles n'a pas changé leurs formes : rocher du Canon, Cercueil du Géant, Vaisseau de Guerre, tous sont sculptés comme si le ciseau y avait passé de notre temps. Ces lacs, maintenant embellis par une ceinture de bois verdoyants, étaient autrefois tous occupés par la glace. Elle a disparu, et le vent a apporté ici, des régions voisines, les graines des arbres, des arbustes, des fougères et des herbes qui font la beauté de Killarney. L'homme même n'a, dit-on, paru sur le globe qu'après cette période glaciaire; mais sur l'époque réelle de cette apparition et la manière dont elle s'est faite, on ne peut guère prétendre en savoir bien long, depuis qu'on a donné un sens nouveau aux récits et aux mythes magnifiques de la Bible, pour les mettre d'accord avec la science.

L'esprit humain a une tendance naturelle à porter ses regards en arrière et en avant; il voudrait reconstituer le passé et dévoiler l'avenir. Grâce à cette tendance, les données auxquelles nous arrivons à force de patience et de pénibles travaux, nous permettent de ramener en esprit

un état de choses qui a existé des milliers, et peut-être même des millions d'années avant le commencement de l'histoire de la race humaine.

# LIVRE IV

## L'ÉPOQUE GLACIAIRE ET LES THÉORIES GLACIAIRES

---

### CHAPITRE PREMIER

L'ÉPOQUE GLACIAIRE. — THÉORIES DIVERSES : PLASTICITÉ, DILATATION, VISCOSITÉ.

*L'époque glaciaire.* — Cette période de prédominance des glaces a reçu le nom d'*époque glaciaire*. En voulant l'expliquer, des esprits éminents sont tombés dans de graves erreurs, comme nous le verrons bientôt.

Le corps que nous avons étudié jusqu'ici existe à trois états différents : à l'état solide, c'est la glace; à l'état liquide, c'est l'eau; à l'état gazeux, c'est la vapeur. Pour qu'il passe de l'un de ces états à l'état suivant, il faut de la *chaleur*.

Creusez un trou dans la glace de la Mer de Glace en été, et mettez-y un thermomètre; il marquera zéro. Plongez votre thermomètre dans un des cours d'eau qui sortent du glacier; il marquera encore zéro. *Donc l'eau est aussi froide que la glace.*

Ainsi toute la chaleur que le soleil verse sur le glacier,

et qu'il a absorbée, est employée uniquement à liquéfier la glace, et non à élever d'un seul degré la température de la glace ou celle de l'eau.

Exposez de l'eau à l'action du feu; elle s'échauffe pendant un certain temps. Elle se met à bouillir, et, à partir de ce moment, elle cesse de s'échauffer. Dès qu'elle entre en ébullition, toute la chaleur qu'elle reçoit du feu est emportée par la vapeur, *quoique la température de la vapeur elle-même ne soit pas supérieure de la moindre fraction de degré à celle de l'eau.*

En effet, la liquéfaction de la glace exige une grande quantité de chaleur, et la vaporisation de l'eau en exige encore davantage. Et comme cette chaleur ne rend pas l'eau plus chaude que la glace, ni la vapeur plus chaude que l'eau, on supposait autrefois qu'elle était *cachée* dans l'eau et dans la vapeur : de là le nom de *chaleur latente.*

Demandons-nous combien de chaleur le soleil doit dépenser pour convertir une livre de l'océan des tropiques en vapeur. Ce problème a été résolu d'une manière exacte par l'expérience. Il faut, en nombres ronds, 1000 fois la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'une livre d'eau.

Mais la quantité de chaleur qui élèverait d'un degré la température d'une livre d'eau, élèverait de *dix* degrés celle d'une livre de fer. Ce fait aussi a été prouvé par l'expérience. Ainsi, pour convertir en vapeur une livre de l'océan des tropiques, le soleil doit dépenser 10000 fois autant de chaleur que pour élever d'un degré la température d'une livre de fer.

Cette quantité de chaleur élèverait la température de 5 livres de fer à 2000 degrés, ce qui est la température de fusion de la fonte; à cette température, le métal non-seu-

lement serait porté au blanc, mais encore entrerait en fusion.

Examinons les conclusions auxquelles nous sommes maintenant arrivés. Pour chaque livre de vapeur produite aux tropiques, ou pour chaque livre de glace des Alpes produite par la congélation de cette vapeur, le soleil a dépensé une quantité de chaleur suffisante pour porter cinq livres de fonte à la température de fusion.

Il ne serait pas difficile de calculer approximativement le poids de la Mer de Glace et de ses affluents — de dire, par exemple, qu'ils contiennent tant de millions de millions de tonnes de glace et de neige. Remplacez par la pensée la glace par une masse de fer chauffée au blanc, d'un poids quintuple, et vous aurez une idée de l'énorme quantité de chaleur que le soleil a dépensée pour produire le glacier actuel.

Il faut méditer ce fait jusqu'à ce qu'il soit pour vous aussi clair que la lumière du soleil. Il ne faut plus désormais que vous tombiez dans l'erreur que j'ai déjà signalée, et où tant d'autres se sont embarrassés. Il était si naturel d'associer l'idée de glace et celle de froid, que même des hommes célèbres ont admis que pour amener un grand accroissement de nos glaciers il ne faut autre chose que l'abaissement de la température du soleil. S'ils avaient fait les réflexions et les calculs qui précèdent, ils auraient probablement demandé *plus* de chaleur, et non pas moins, pour produire une « époque glaciaire. » Ce qui est réellement nécessaire, ce sont des *condensateurs* assez puissants pour congeler la vapeur produite par la chaleur solaire.

*Théories diverses.* — Vous n'avez pas oublié, et vous n'oublierez peut-être jamais nos excursions à la station de la Fente; ces excursions nous ont souvent suggéré des

idées que nous n'avons pas encore discutées. Nous avons vu les glaciers secondaires descendre de leurs névés, se souder ensemble, passer par Trélaporte, et suivre ensuite la vallée sinueuse de la Mer de Glace. Ces apparences seules, sans tenir compte des faits subséquents, ont suffi pour nous faire penser que la glace des glaciers, quelque dure et fragile qu'elle puisse sembler, est en réalité une substance visqueuse qui ressemble à la mélasse, au miel, au goudron ou à la lave.

*Théories de la dilatation et du glissement.* — Telle n'était pas cependant l'idée exprimée par la majorité de ceux qui ont écrit sur les glaciers. Scheuchzer de Zurich, grand naturaliste, visita les glaciers en 1705, et proposa une théorie de leur mouvement. Il savait que l'eau se dilate en se congelant, et que sa force d'expansion est telle que des bombes épaisses, remplies d'eau et exposées à un grand froid, éclatent par la pression que la glace exerce au dedans. Scheuchzer admettait que l'eau contenue dans les fissures des glaciers, en s'y congelant et en se dilatant avec une force irrésistible, exerçait une pression qui forçait le glacier à se mouvoir sur la pente. A cette théorie il ajoutait d'autres idées moins scientifiques.

Bien des années après, de Charpentier de Bex renouvela et développa cette théorie d'une manière si habile et si complète, qu'elle fut longtemps connue sous le nom de Théorie de la dilatation de Charpentier. M. Agassiz adopta cette théorie pendant un temps ; elle fut aussi soutenue, d'une manière plus ou moins expresse, par d'autres écrivains. Au fond, le glacier était considéré comme un magasin de froid, capable de congeler toute l'eau qui s'y introduisait. Cette théorie fut abandonnée quand M. Agassiz eut prouvé que l'idée du froid des glaciers n'est pas soutenable.

En 1760, Altman et Grüner émirent l'idée que les glaciers avancent en glissant sur leurs lits. Près de quarante ans plus tard, de Saussure fit revivre cette idée, qui a en conséquence été appelée la « théorie de de Saussure » ou « théorie du glissement » sur le mouvement des glaciers.

Il n'y avait cependant aucune raison de rattacher le nom de de Saussure à cette théorie des glaciers, ou à toute autre. Entièrement occupé d'observations d'un autre genre, cet homme célèbre a consacré très peu de son temps ou de ses réflexions à la question du mouvement des glaciers. Ce qu'il a écrit sur ce sujet semble moins l'élaboration d'une théorie que l'expression d'une opinion.

*Théorie de la plasticité.* — Aucun de ces écrivains n'attribue à la glace des glaciers la viscosité ou plasticité; et cependant, l'apparence que présentent un grand nombre de glaciers suggère si bien cette idée, que nous sommes sûrs qu'elle aurait été exprimée plus souvent, si elle n'avait semblé si complétement en contradiction avec ce que nous savons de la glace par l'expérience de tous les jours.

Néanmoins cette idée trouva des défenseurs. Dans un opuscule, publié en 1773, sous le titre de « Voyage pittoresque aux glaciers de la Savoie, » Bordier de Genève écrivait ce qui suit : — « Il est temps, maintenant, de considérer tous ces objets avec les yeux de la raison ; d'étudier d'abord la position et le mouvement des glaciers, et de chercher l'explication de leurs principaux phénomènes. Dès que l'on regarde les montagnes de glace, une observation se présente qui semble suffire à tout expliquer : toute la masse de glace est une et avance en descendant comme le font les liquides. Considérons donc la glace, non comme une masse entièrement rigide et immo-

bile, mais comme un amas de matière coagulée, ou comme de la cire molle, flexible et ductile jusqu'à un certain point [1]. » C'était probablement la première fois qu'on exprimait l'idée de la plasticité de la glace.

Pour nous qui sommes familiarisés avec l'aspect des glaciers, il doit nous sembler étrange qu'une fois exprimée, cette idée n'ait pas été sur-le-champ admise et développée. Mais les explorateurs étaient rares à cette époque, et il est probable que le Voyage pittoresque était peu connu, de sorte que l'idée de la plasticité de la glace sommeilla encore pendant plus d'un demi-siècle. Mais à Bordier succéda enfin un homme d'une portée et d'une pénétration scientifiques bien plus grandes; je veux parler de Rendu, prêtre catholique et chanoine, à l'époque où il écrivit son ouvrage, et plus tard évêque d'Annecy. En 1841, Rendu soumit à l'Académie royale des sciences de Savoie sa « Théorie des glaciers de la Savoie, » ouvrage à jamais mémorable [2].

Rendu saisit avec autant de puissance que de clarté l'idée de la plasticité des glaciers, et la suivit résolûment dans toutes ses conséquences. Nous ne savons s'il avait jamais lu l'ouvrage de Bordier; il est probable que non, car il n'en dit pas un mot. Je veux vous citer quelques-unes des expressions de Rendu, bien qu'elles ne donnent pas encore une idée suffisante de sa pénétration et de la précision de sa pensée : — « Entre la Mer de Glace et un fleuve la ressemblance est si complète, qu'il est impossible de trouver pour le glacier un seul fait qui ne se

1. Je dois ici exprimer ma reconnaissance à mon éminent ami, le professeur Studer de Berne, qui a appelé mon attention sur le livre de Bordier, ainsi qu'à mes amis du Musée Britannique, qui se sont donné la peine de le trouver pour moi.
2. Mémoires de l'Académie, vol. X.

reproduise pas pour le fleuve. Dans les cours d'eau, le mouvement n'est uniforme ni sur toute la largeur, ni dans toute la profondeur. Le frottement sur le fond et sur les bords, ainsi que les obstacles locaux, fait varier le mouvement, et ce n'est que vers le milieu de la surface que le mouvement normal se produit. »

N'est-ce pas là la prédiction de ce qui a plus tard été établi par des mesures exactes. Après avoir considéré le glacier du Mont Dolent, qui a la forme d'une gerbe, large aux deux extrémités et étroit au milieu, et avoir réfléchi que la partie supérieure s'est rétrécie, et que la partie étroite du milieu s'est élargie de nouveau, Rendu s'exprime ainsi : « Il y a une multitude de faits qui semblent exiger que nous accordions à la glace des glaciers une sorte de ductilité qui lui permet de se mouler sur le lit qu'elle occupe, de s'amincir, de se gonfler, et de se contracter comme si c'était une pâte molle. »

Pour vérifier ses idées d'une manière complète, il manquait à Rendu la mesure exacte du mouvement des glaciers. Si à ses autres connaissances il avait ajouté l'habileté pratique d'un arpenteur, il serait maintenant regardé comme le maître de la théorie des glaciers. Mais il fut obligé de se contenter de mesures imparfaites. Dans une de ses excursions, il interrogea les guides sur les positions successivement occupées par un énorme rocher qu'il trouva sur la glace près du bord du glacier. La moyenne de cinq années lui donna pour ce bloc un déplacement de 40 pieds par an.

Un autre bloc, dont il mesura plus tard le déplacement d'une manière plus exacte, lui donna une vitesse de quatre cents pieds par an. Voici comment il explique cette différence : « L'énorme différence des résultats de ces deux

observations vient de ce qu'un des blocs était près du centre du glacier, lequel a le mouvement le plus rapide, tandis que l'autre était près du bord, où la glace est retenue par le frottement. » Les idées de Rendu sur le mouvement plastique des glaciers étaient si claires et si précises, que si la question de la courbure lui fût venue à l'esprit, je ne doute pas qu'il n'eût indiqué d'avance le passage du point de vitesse maxima d'un bord à l'autre, en coupant l'axe du glacier.

Je dois vous dire que les hommes de science ne s'accordent pas toujours dans l'appréciation de la valeur relative des faits et des idées; je dois surtout vous avertir que j'attache une très-grande importance aux idées quand elles viennent de la méditation profonde et persistante d'un esprit supérieur, au lieu d'être, comme il arrive trop souvent, émises sans la garantie d'une réflexion profonde ou d'une capacité naturelle. C'est parce que je crois que les travaux de Rendu remplissent cette condition, que je leur attribue une si grande valeur. Mais quand vous serez plus âgé et plus instruit, vous ne partagerez peut-être pas ma manière de voir; c'est pourquoi je vous dis ceci, de peur que vous n'acceptiez trop à la légère l'opinion que j'ai de Rendu. Jugez-moi, si vous le voulez, quand votre intelligence aura mûri; assurément, je ne craindrai pas votre verdict.

Mais, tout en estimant ainsi l'idée première, et en étant bien convaincu que c'est d'elle que vient surtout la force du génie, je pense que nous commettrions une omission des plus graves, et qui, si elle se répétait, amènerait infailliblement la décadence des sciences naturelles, si nous négligions de vérifier nos idées et de leur donner une réalité extérieure et une substance, quand les moyens

de le faire se trouvent à notre portée. Dans les sciences, la pensée doit, autant que possible, être inséparable des faits. Cette union fut tentée par Rendu; il était réservé à Agassiz et à Forbes de la rendre presque complète.

*Théorie de la viscosité.* — Ici, les mérites du savant distingué que nous avons nommé le dernier, se montrent dans tout leur jour. C'est presque uniquement aux efforts habiles et persévérants du professeur Forbes que nous devons la vulgarisation de la doctrine de la plasticité de la glace. C'est lui qui a donné à cette doctrine une forme plus distincte; c'est lui qui, le premier, s'est servi du mot de *viscosité* en parlant des glaciers, et qui a cherché à établir d'après des mesures exactes une théorie du mouvement des glaciers fondée sur la viscosité.

Et ici je dois exposer les faits dans l'ordre historique. Lorsque le professeur Forbes commença ses recherches, il connaissait les travaux de Rendu. Dans son premier ouvrage sur les Alpes, il cite ces travaux dans les termes les plus flatteurs. Mais, bien qu'il soit vrai qu'il pouvait ainsi s'inspirer des idées de Rendu, ce serait aller trop loin que de dire qu'il eût besoin de cette inspiration. Si Rendu n'était pas venu avant lui, Forbes aurait pu néanmoins s'emparer de l'idée de viscosité, exécuter ses mesures, et employer sa science pour la soutenir. Quoi qu'il en soit, l'apparition du professeur Forbes sur le glacier de l'Unteraar en 1841, et sur la Mer de Glace en 1842, ses travaux de cette époque, et ceux qu'il exécuta dans la suite, ont lié son nom d'une manière indissoluble à l'histoire scientifique des glaciers.

Voici en quels termes le professeur Forbes énonça la théorie qu'il soutenait : — « Un glacier est un fluide imparfait, un corps visqueux, qui est poussé en avant sur

des pentes d'une certaine inclinaison, par la pression naturelle qu'exercent ses parties. » En 1773, Bordier écrivait ce qui suit : — « Comme les glaciers avancent toujours dans la plaine, et ne disparaissent jamais, il est absolument nécessaire que de la glace nouvelle remplace perpétuellement celle qui a fondu ; cette glace doit donc descendre en vertu de la pression des couches supérieures. Ainsi, l'on peut à peine se refuser à admettre cette vérité étonnante, que cette vaste nappe de glace dure et solide se meut et descend tout d'une pièce. » Dans le passage que nous avons déjà cité, il parle de la glace qui descend comme un fluide, en vertu de la pression qu'elle subit. Voilà, je crois, la part qui revient à Bordier dans cette théorie. Ces citations montrent la sagacité dont il a fait preuve avant tous; mais ses vues sont loin d'être aussi complètes que celles de Rendu et de Forbes.

Je dois dire ici que, quoique M. Agassiz ne se soit point rallié à l'idée de la viscosité, ses mesures et les cartes de ses mesures, prises sur le glacier de l'Unteraar, ont été citées tout récemment comme les preuves les plus claires et les plus concluantes d'une qualité qui, en tout cas, ressemble fort à la viscosité.

Mais pourquoi, tout en ayant devant lui des preuves plus abondantes et plus caractéristiques que celles des autres observateurs, pourquoi M. Agassiz hésite-t-il à accepter l'idée de viscosité appliquée à la glace ? Sans doute parce qu'il trouve que cette idée est en contradiction avec l'expérience journalière que nous avons de cette substance.

Prenez un bloc de glace de dix ou même de quinze pieds cubes ; tracez-y un trait de scie d'un ou deux centimètres de profondeur, et enfoncez dans cette rainure un poinçon pas plus gros qu'une de ces limes qu'on nomme

queues de rat; la glace se fendra du haut en bas avec une cassure cristalline bien nette. Comment cette fragilité peut-elle s'accorder avec l'idée de viscosité?

En outre, nous avons été sur le glacier et nous y avons vu des crevasses se produire. Nous les avons vues commencer par des fentes étroites qui se formaient tout à coup; il fallait plusieurs jours pour les élargir de deux ou trois centimètres. Dans bien des glaciers on peut suivre des fissures étroites et profondes de plusieurs centaines de mètres à travers la glace. N'est-il pas évident que, si la glace possédait, même à un très-faible degré, la faculté d'extension qui caractérise une substance visqueuse, de telles crevasses ne pourraient se former?

Cependant, il est hors de doute que le glacier se meut comme un corps visqueux. Le milieu avance plus vite que les bords, la surface marche plus rapidement que le fond, et le mouvement du glacier dans une vallée recourbée correspond au mouvement d'un liquide. M. Mathews, M. Froude, et surtout M. Bianconi ont, en outre, fait tout récemment des expériences qui démontrent d'une manière frappante la flexibilité de la glace. Ces expériences méritent d'être remarquées, et le seront sans doute plus tard.

## CHAPITRE II

THÉORIE DU REGEL. — THÉORIE DE FARADAY.

*Théorie du regel.* — Je vais maintenant vous parler d'une tentative que l'on a faite, il y a quelques années, pour concilier la fragilité de la glace avec son mouvement dans les glaciers. Elle est fondée sur l'observation, faite par Faraday en 1850, que, quand deux morceaux de glace fondante sont mis en contact, ils se soudent ensemble au point de contact.

Ce fait ne vous surprend peut-être pas; mais il surprit Faraday et d'autres aussi, et des hommes fort distingués dans les sciences ne se sont pas accordés sur l'explication de ce fait. Le point difficile est d'expliquer où et comment, dans de la glace déjà fondante, se produit le froid nécessaire pour geler la pellicule d'eau qui sépare les deux surfaces rapprochées.

Le mot de *regel* a été proposé par le Dr Hooker pour exprimer le soudage de deux morceaux de glace fondante observé par Faraday; et le mémoire dans lequel ce terme fut employé pour la première fois, a été publié par MM. Huxley et Tyndall dans les *Transactions philosophiques* de 1857.

Voici comment l'on peut démontrer le *fait* du regel et son application, quelle que soit la *cause* de ce phénomène : — sciez deux plaques d'un bloc de glace, et mettez en contact leurs surfaces planes; elles se souderont immédiatement ensemble. Deux plaques de glace, posées l'une sur l'autre, et que l'on laisse pendant une nuit enveloppées de laine, sont quelquefois si solidement soudées l'une à l'autre le lendemain, qu'elles casseront plutôt partout ailleurs que sur la surface de jonction. Si vous entrez dans une des cavernes de glace de la Suisse, vous n'avez qu'à appuyer pendant un instant une plaque de glace contre la paroi supérieure de la caverne, pour en déterminer l'adhérence complète à cette paroi.

Mettez dans un bassin d'eau plusieurs fragments de glace, et rapprochez-les de manière qu'ils se touchent; ils se soudent ensemble aux points de contact. Vous pouvez former une chaîne de ces fragments; et ensuite, si vous saisissez un des bouts de la chaîne, vous entraînerez à sa suite toute la série. C'est ainsi que des chaînes de gros glaçons se forment quelquefois dans les mers polaires.

Voyons ce qui résulte de ces observations. La neige se compose de petites parcelles de glace. Alors, si par la pression nous chassons l'air que contient la neige fondante, et que nous amenions les petits grains de glace à se toucher, ils devront se souder ensemble; et, si l'air est complétement expulsé, la neige comprimée devra présenter l'aspect de la glace compacte.

Telle est la conclusion à laquelle nous arrivons par le raisonnement; soumettons-la à l'épreuve de l'expérience, en nous servant d'une presse hydraulique convenable, et d'un moule pour contenir la neige. L'expérience est d'ac-

cord avec la théorie, et, par la pression, nous transformons la neige en glace [1].

Mettez dans un moule convenable une masse compacte de glace, et soumettez-la à une forte pression : elle se brise en morceaux. Comprimez alors fortement ces morceaux; ils se réunissent par regel, et vous retirez de la presse une masse de glace compacte, qui diffère entièrement de la première par sa forme. Pour obtenir ce résultat, il faut opérer sur de la glace fondante. Quand la température de la glace est beaucoup plus basse que celle de la glace fondante, la pression ne la transforme pas en une masse translucide d'une autre forme, mais bien en une poudre blanche.

En employant des moules convenables, on peut ainsi changer à volonté la forme de la glace, et obtenir des sphères, des coupes, des anneaux, des cables de cette substance; le changement de forme s'opère, dans tous les cas, par voie de broiement et de regel.

Si l'on comprime avec précaution, on peut éviter le broiement, et forcer la glace à changer lentement de forme, comme le ferait une matière plastique.

Or, notre première expérience explique la consolidation des neiges des régions supérieures des Alpes. Les couches inférieures du névé ont à supporter le poids de toutes les couches supérieures, ce qui les transforme en glace plus ou moins parfaite. Et notre dernière expérience explique les changements de forme observés sur le glacier, où, par l'action lente et continue de la pression, la glace se moule peu à peu sur la vallée qu'elle remplit.

1. Une expérience du même genre avait été faite par MM. Schlagintweit, antérieurement à la découverte qui l'explique; ainsi ce fait était resté sans explication.

D'ailleurs les glaciers nous présentent aussi de nombreux exemples de rupture brusque et de regel; telle est la manière dont les crevasses s'ouvrent et se referment. Le glacier se brise aux cascades et se ressoude au pied de ces mêmes cascades. Quand deux glaciers secondaires viennent se toucher par le flanc, le regel est si ferme qu'ils se mettent immédiatement à couler tout d'une pièce dans le lit du glacier principal. La moraine médiane n'indique pas par la lenteur de son mouvement qu'elle vienne de la glace plus lente qui forme les bords des glaciers secondaires.

Le point saillant de la théorie du regel, c'est que la glace des glaciers change de forme et conserve le caractère d'une nappe continue, sous l'influence d'une *pression* qui maintient la cohésion de ses molécules. Mais lorsqu'elle subit une certaine *tension*, plutôt que de s'étendre elle se *brise*, et ne se comporte plus comme un corps visqueux.

*Cause du regel.* — Jusqu'ici, nous nous sommes servis du fait du regel pour expliquer la plasticité de la glace des glaciers, sans essayer de trouver la cause du regel lui-même. Ce sont là, en effet, deux questions entièrement distinctes. Mais ce ne sera point perdre notre temps que de rechercher cette cause. On s'étonnera peut-être de voir des hommes de science consacrer leur attention à une si petite chose; mais il ne faut pas oublier que rien n'est petit dans la nature. Les lois et les principes, voilà ce qui intéresse le plus l'homme qui étudie les sciences, et ils s'appliquent aussi bien aux petites choses qu'aux grandes.

La question du regel se rattache d'une manière immédiate à celle de la chaleur latente, dont nous avons déjà parlé, mais qu'il nous faut maintenant approfondir encore

davantage. Pour fondre la glace, nous l'avons déjà dit, il faut une grande quantité de chaleur, et c'est le soleil qui fournit cette chaleur aux glaciers. Ni la glace ainsi fondue, ni l'eau qui résulte de sa liquéfaction ne peuvent être à une température inférieure à zéro. Le point de congélation de l'eau et le point de fusion de la glace se touchent, pour ainsi dire, à cette température. A un millième de degré au-dessous, l'eau se congèle; à un millième au dessus, la glace fond.

Mais si l'on pouvait faire fondre la glace sans qu'elle reçût rien du soleil, il en résulterait une température plus basse que celle de la glace fondante ordinaire. Quand on mêle ensemble de la neige et du sel, ou de la glace pilée et du sel, cette dernière substance fait fondre la glace, et l'on peut obtenir un froid de 10 à 15 degrés au-dessous de zéro. Dans ce cas, la glace emploie réellement *sa propre chaleur* pour opérer la liquéfaction. Ce mélange de glace et de sel est appelé un mélange réfrigérant.

Et si, par quelque autre moyen, de la glace à zéro pouvait être liquéfiée sans recevoir de chaleur du dehors, l'eau produite serait plus froide que la glace. Or, le professeur James Thomson a prouvé que la glace peut être liquéfiée par la *pression* seule, et son frère, Sir William Thomson, a également démontré que de l'eau comprimée exige pour se congeler une température plus basse que quand elle n'est pas comprimée. Le professeur Mousson a, plus tard, liquéfié de grandes masses de glace au moyen d'une presse hydraulique; et, par une très-belle expérience, le professeur Helmholtz a prouvé que de l'eau contenue dans un vase où l'on a fait le vide, et où, par conséquent, la pression atmosphérique ne se fait plus sentir, se congèle et forme des cristaux de glace si on l'entoure

de glace fondante. Tous ces faits se résument en cette loi, que *la pression abaisse le point de congélation de l'eau* [1].

Nous pouvons, pour notre propre instruction, produire la liquéfaction de la glace par la pression, de la manière suivante : — Vous n'avez pas oublié les belles fleurs qu'on obtient en faisant passer un rayon de soleil à travers de la glace de lac, et vous vous rappelez que les fleurs se forment toujours parallèlement à la surface de congélation. Taillons un prisme, ou une petite colonne de glace, de manière que les plans de congélation le coupent à angle droit; mettons ce prisme entre deux planchettes, et comprimons-le avec précaution, à l'aide d'une petite presse hydraulique.

Il est bon de concentrer sur le morceau de glace une lumière assez vive, au moyen d'un miroir concave, et de l'examiner à la loupe. Vous voyez déjà le résultat : dans la substance même de la glace il se forme des surfaces troubles, qui gagnent peu à peu en étendue si l'on augmente lentement la pression. Çà et là, vous apercevez quelque chose qui ressemble à une cristallisation; on dirait que des feuilles de fougère parcourent la glace avec une grande rapidité, et, si vous en regardez attentivement les pointes et les bords, vous y constatez un mouvement fort appréciable. Ces surfaces troubles sont des espaces de liquéfaction, et le mouvement que vous voyez est celui de la glace qui se transforme en eau sous la pression. Cette eau est plus froide que ne l'était la glace avant d'être comprimée; et, si la pression cesse, non-seulement la liquéfaction s'arrête, mais encore l'eau se regèle. Le froid produit par la liquéfaction de la glace sous l'action de la

1. MM. James Thomson et Clausius l'ont prouvé indépendamment l'un de l'autre, et presque à la même époque.

pression, suffit pour regeler l'eau dès que la pression a cessé.

Si, au lieu de distribuer la pression sur des surfaces d'une étendue considérable, nous la concentrons sur une petite surface, la liquéfaction sera nécessairement plus rapide, et c'est là ce que M. Bottomley a fait tout récemment dans une expérience singulièrement belle et intéressante. Appuyons sur des blocs de bois les deux extrémités d'une barre de glace de 25 centimètres de long sur 10 d'épaisseur et 7 de large, et faisons passer sur le milieu de cette barre un fil de cuivre de 1 ou 2 millimètres de diamètre. Si nous réunissons les deux extrémités de ce fil, et que nous y suspendions un poids de 6 ou 7 kilogrammes, toute la pression exercée par ce poids portera sur la glace qui soutient le fil. Qu'en résulte-t-il? La glace qui est sous le fil se liquéfie; l'eau de liquéfaction s'échappe autour du fil, mais dès qu'elle n'est plus soumise à la pression, elle se congèle, de sorte que tout autour du fil, même avant qu'il n'ait pénétré dans la glace, il se forme une enveloppe de glace. Le fil continue à pénétrer dans la glace; l'eau s'échappe sans cesse, et, à mesure, se congèle derrière le fil. Au bout d'une demi-heure, le poids tombe; le fil a traversé la glace dans toute son épaisseur. On voit nettement la trace de son passage, mais les deux morceaux de la barre de glace se sont ressoudés si solidement, que la barre cassera sur tout autre point aussi bien qu'à la surface de regel.

Voici, sur le même sujet, une autre expérience remarquable que nous devons à M. Boussingault. Il prend un cylindre d'acier creux, qu'il remplit d'eau et qu'il soumet au refroidissement. L'eau, vous le savez, se dilate en se congelant; et, en effet, une condition indispensable de la congélation, c'est que le liquide ait assez de place pour

se dilater. Mais, dans le cas qui nous occupe, l'acier était assez fort pour résister à la force de dilatation, de sorte que l'eau est restée liquide, à une température de plus de 15 degrés au-dessous de zéro. A cette température, en secouant le cylindre, on put entendre une balle qu'on y avait mise venir frapper contre les parois, ce qui montrait que l'eau était toujours à l'état liquide. Dès qu'on ouvrit le robinet, le liquide, n'étant plus comprimé, se changea immédiatement en glace.

Les substances qui se dilatent en se solidifiant, sont les seules qui se comportent ainsi. Le bismuth, nous le savons, ressemble à l'eau sous ce rapport; au contraire, pour le plomb, la cire, le soufre, qui se contractent en passant à l'état solide, le point de fusion *remonte* sous l'influence de la pression.

Et maintenant, vous comprendrez facilement la théorie du professeur James Thomson sur le regel. Quand deux morceaux de glace sont pressés l'un contre l'autre, il y a, dit-il, liquéfaction. L'eau s'étend autour des points de pression, et, dès qu'elle est libre, regèle et forme ainsi une sorte de ciment entre les morceaux de glace.

*Théorie de Faraday sur le regel.* — Il est moins facile d'exprimer la manière dont Faraday comprend le regel; mais je veux cependant vous en donner quelque idée, en commençant par les faits reconnus. On peut, même dans un vase ouvert, abaisser la température de l'eau à plusieurs degrés au-dessous de zéro, sans qu'elle cesse d'être liquide; on peut aussi porter cette température bien au-dessus de cent degrés, sans que l'eau entre pour cela en ébullition. Cela vient de la cohésion qui existe entre les molécules de l'eau, cohésion qui empêche le liquide de passer soit à l'état solide, soit à celui de vapeur.

Mais si dans de l'eau refroidie au-dessous de zéro on jette une parcelle de glace, la cohésion est détruite, et la congélation s'opère immédiatement. De même, si dans l'eau surchauffée on introduit une bulle d'air ou de vapeur, la cohésion est également détruite, et le liquide entre immédiatement en ébullition.

De ces faits Faraday conclut *qu'à l'intérieur* de tout corps, solide ou liquide, où chaque molécule est, pour ainsi dire, saisie par les molécules voisines, et les saisit à son tour, la cohésion est si forte qu'il faut pour changer l'état d'agrégation de ces molécules une température plus élevée que celle qu'il faut *à la surface*. A la surface d'un morceau de glace, par exemple, il y a un côté où les molécules sont dégagées de l'action des autres molécules; elles cèdent donc à la chaleur plus facilement que les molécules de l'intérieur. La bulle d'air ou de vapeur que l'on introduit dans l'eau surchauffée, dégage aussi les molécules d'un côté; de là l'ébullition qui suit l'introduction de cette bulle. Ainsi, dans la pratique, le point de liquéfaction de la glace intérieure est plus élevé que celui de la glace de la surface. Faraday parle aussi de la puissance spéciale de solidification que les corps exercent sur leurs propres molécules. Du camphre mis dans un flacon de verre, remplit ce flacon d'une atmosphère de camphre. Dans une telle atmosphère, de gros cristaux de cette substance peuvent se former par le dépôt continuel de molécules de camphre sur du camphre, à une température trop élevée pour permettre la formation du plus léger dépôt sur *la paroi de verre*. La même observation s'applique au soufre, au phosphore et aux métaux en fusion. Ils se déposent sur des morceaux solides de leur propre substance, à des températures trop élevées pour qu'ils puissent se solidifier sur d'autres substances.

L'eau est un exemple remarquable de cette puissance spéciale de solidification. On peut la refroidir à plus de cinq degrés au-dessous de zéro sans qu'elle se congèle. Mais cela devient impossible si le moindre fragment de glace se trouve en suspension dans l'eau : dans ce cas, l'eau gèle exactement à zéro; seulement, elle se dépose, non sur les parois du vase qui la contient, mais *sur la glace* elle-même. Faraday a vu, dans un appareil de congélation, de minces cristaux de glace s'accroître, dans de l'eau à zéro, jusqu'à la longueur de six, huit ou dix pouces, tandis que la température ne suffisait pas pour en déterminer le dépôt sur les parois du récipient.

Et maintenant nous pouvons aborder les idées de Faraday sur le regel. Quand les surfaces de deux morceaux de glace, recouvertes d'une mince pellicule d'eau de liquéfaction, viennent à se toucher, la pellicule d'eau passe de la surface au centre de la glace, où le point de liquéfaction, comme nous l'avons vu, est plus élevé qu'à la surface. La puissance spéciale de solidification que la glace exerce sur l'eau, agit alors *des deux côtés de cette pellicule*. Faraday était d'avis que, dans ces circonstances, la pellicule doit se congeler, et souder ensemble les deux surfaces.

L'abaissement du point de congélation par la pression n'est que de $\frac{1}{126}$ de degré centigrade par atmosphère. En présence de la fraction infinitésimale de cette pression qui agit dans certains cas de regel, Faraday pensait que l'effet en était insensible. Il suspendait des morceaux de glace, et les mettait en contact sans pression appréciable, et néanmoins ils se soudaient ensemble. Cependant le professeur James Thomson est d'avis que même l'attraction

capillaire qui s'exerce entre deux masses de ce genre, suffirait par déterminer le regel. Voici quelques expériences que peuvent faire ceux qui veulent étudier ce sujet :

Mettez sur l'eau un petit morceau de glace, et pressez le par dessous avec un second morceau; ce dernier peut être assez petit pour que la pressionexercée soit infinitésimale, et néanmoins il se soudera à la face inférieure de l'autre morceau.

Mettez deux morceaux de glace dans un bassin d'eau chaude, et faites en sorte qu'ils se touchent : ils se soudent ensemble dès qu'il y a contact. Les parties voisines du point de contact fondent, mais les deux morceaux restent pendant quelque temps unis par un fil de glace. Ce fil finit par fondre, et les deux morceaux sont un instant séparés; mais la force de capillarité les réunit immédiatement, et le regel s'opère de nouveau. Un nouveau lien se forme, puis se dissout à son tour, et les morceaux séparés s'unissent de nouveau. Il s'établit ainsi une sorte d'oscillation entre les deux morceaux de glace; ils se touchent, se soudent; un pont se forme entre eux, puis se fond; et ces alternatives continuent jusqu'à ce que la glace disparaisse.

Selon la théorie du professeur James Thomson, la pression est nécessaire pour fondre la glace. La chaleur nécessaire à la liquéfaction doit être empruntée à la glace elle-même, et l'eau froide doit échapper à la pression pour se regeler. Or, dans les expériences qui précèdent, l'eau froide, au lieu de pouvoir se congeler, *se mêle à l'eau chaude*, et néanmoins les morceaux flottants se ressoudent en un instant. En outre les surfaces de contact peuvent être convexes; elles peuvent se réduire en réalité à des *pointes*

entourées par l'eau chaude, qui les dissout rapidement, tandis qu'elles s'avancent l'une vers l'autre; et cependant, elles se soudent dès qu'elles se touchent.

Cette discussion pourra vous apprendre que, dans les sciences, comme dans tout le reste, il y a place pour des différences d'opinion. La règle à suivre en pareil cas est de suspendre son jugement, tant que la solution est douteuse. Il se peut que l'action mise en avant par Faraday, et celle que Thomson a soutenue s'exercent toutes deux. Je ne puis mieux faire, en terminant, que de citer les paroles mêmes par lesquelles Faraday conclut, paroles qui montrent combien, chez lui, la conviction scientifique était loin du dogmatisme : — « Sans doute, dit-il, des expériences exactes nous permettront plus tard de critiquer des résultats tels que ceux-ci, et, en séparant le vrai du faux, établiront la véritable théorie du regel. »

## CHAPITRE III

VEINES BLEUES DES GLACIERS. — RELATION ENTRE LA STRUCTURE ET LA PRESSION. — CLIVAGE DE L'ARDOISE ET STRUCTURE LAMELLEUSE DE LA GLACE.

*Veines bleues des glaciers.* — Nous approchons maintenant de la fin, et il ne nous reste plus à discuter qu'une seule question importante. Jusqu'ici, nous l'avons négligée à dessein, parce qu'il fallait pour la résoudre avoir acquis une grande connaissance des glaciers. Nous avions aussi à nous familiariser par l'expérience avec la propriété que possède la glace, ramollie par le dégel, de céder à la pression, et de se liquéfier sous l'action de cette pression.

La neige est blanche ; cependant, si vous en examinez les molécules séparément, vous direz qu'elles sont transparentes, et non pas blanches. La blancheur de la neige est due au mélange des parcelles de glace avec de petits espaces d'air. Pour tous les corps transparents, la blancheur résulte d'un mélange de ce genre. Le verre ou le cristal le plus pur se change en une poudre blanche si on l'écrase. La mousse du vin de Champagne est blanche, à cause du mélange intime d'un liquide transparent avec de l'acide carbonique, transparent aussi. Le papier le plus

blanc, aussi, est composé de fibres qui, considérées isolément, sont transparentes.

Cependant ce n'est pas l'air ou le gaz qui produit cette blancheur, mais bien la *séparation optique* des molécules, laquelle donne lieu à une multitude de réflexions de la lumière blanche sur leurs surfaces.

Nous avons déjà attribué à une cause semblable la blancheur de la surface d'un glacier, et celle des montagnes de glace de la *Märgelin See*. La surface est rayée de fissures innombrables par la chaleur du soleil, et c'est la réflexion de la lumière solaire sur les bords des petites fissures qui donne lieu à l'apparence que nous observons.

De même, si vous faites geler de l'eau dans une éprouvette, en la plongeant dans un mélange réfrigérant, la glace que vous obtenez est blanche. En général aussi, la glace que donnent les machines de congélation est blanche. Examinez cette glace, et vous verrez qu'elle est pleine de petites bulles d'air. Quand le refroidissement est très-lent, la force de cristallisation expulse toutes les bulles d'air, et il en résulte un morceau de glace transparente; quand le refroidissement est rapide, l'air est entouré avant de pouvoir se dégager, et la glace est translucide. Mais même avec un refroidissement rapide, M. Faraday a pu obtenir de la glace transparente, en enlevant habilement les bulles d'air avec une plume, dès qu'elles se montraient.

Pour la glace des lacs, la congélation n'est pas uniforme, mais intermittente. Elle est quelquefois lente, quelquefois rapide. Lorsqu'elle est lente, l'air en dissolution dans l'eau est expulsé, et forme une couche de bulles à la surface inférieure de la glace. Une congélation brusque emprisonne cet air, et c'est là ce qui fait que la glace des lacs se compose presque toujours de couches

alternativement transparentes et pleines de bulles d'air. A l'aide de ces couches, il est facile de reconnaître les plans de congélation de la glace des lacs.

Voyons maintenant l'application de ces faits. Sous la chute du Géant, au pied de la cascade du Talèfre, et plus bas sur la Mer de Glace; dans les régions supérieures des glaciers du Grindelwald, de l'Aar, de l'Aletsch et de Görner, la glace n'a pas la transparence que l'on remarque vers l'extrémité des glaciers. Elle est blanche ou blanchâtre. Quelle en est la raison? L'examen fait reconnaître qu'elle est pleine de petites bulles d'air; et ces bulles, nous venons de l'apprendre, sont la cause de sa blancheur.

Ces bulles proviennent de l'air qui était primitivement emprisonné dans la neige, et auquel elle doit sa blancheur, comme nous le savons. A mesure que le glacier descend, les bulles sont peu à peu chassées par les énormes pressions que subit la glace. Cette expulsion ne vient pas seulement de ce que la glace fondante et ramollie cède mécaniquement; elle doit encore être facilitée par la liquéfaction de la glace aux endroits où s'exerce une pression violente, ce qui ouvre des fissures à la sortie de l'air, et contribue pour beaucoup à la consolidation du glacier.

Cependant l'expulsion des bulles d'air n'est pas uniforme, car ni la glace, ni aucune autre substance n'opposent à la pression une résistance absolument uniforme. Au pied de toutes les cascades que nous avons visitées, et sur les parois des crevasses qui s'y sont formées, nous avons remarqué un grand nombre de raies bleues tracées à travers la glace blanche translucide, qui donnent à toute la masse l'air d'être composée de lames parallèles. En les examinant de plus près, nous avons reconnu que ces vei-

nes bleues sont des espaces dont les bulles d'air ont été presque entièrement chassées, de sorte que la glace, qui n'était d'abord que translucide, est devenue transparente en ces endroits.

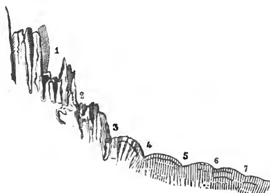
C'est là la structure *veinée ou rubanée* des glaciers, structure sur l'origine de laquelle on n'est pas d'accord.

Abordons le problème, et essayons de le résoudre. Sur les névés du Col du Géant et d'autres glaciers, nous avons trouvé de grandes fentes, des failles et des *Bergschrunds*, qui laissent voir des sections profondes du névé; et, sur ces sections nous avons relevé la trace des bords de couches à demi consolidées, évidemment dues à des neiges tombées à différentes époques. Le névé est stratifié parce qu'il reçoit de l'atmosphère des accroissements intermittents; et, au premier coup d'œil, nous avons été disposés à regarder les veines bleues comme résultant de cette stratification.

Mais l'observation et la réflexion sont bientôt venues dissiper cette idée. Et en effet, elle ne pouvait guère subsister en présence de ce fait qu'à la base des chutes de glace les veines sont toujours *verticales*, ou à peu près. Nous n'avons vu aucun moyen d'expliquer comment les couches horizontales du névé auraient pu être renversées au pied de la chute, de manière à se trouver sur le côté. D'ailleurs l'aspect des veines n'a rien de commun avec celui d'une stratification.

En outre, dans les parties centrales des cascades, il n'y a aucune indication de veines. C'est à la base qu'elles se montrent d'abord, et, dans chaque cas, elles atteignent leur maximum de développement un peu au-dessous de la base. Lorsque nous étions ensemble sur les hauteurs qui dominent le Zäsenberg, et que nous examinions la cas-

cade de la partie du glacier de Grindelwald qui porte le nom de Strahleck, nous n'avons pu douter que ce ne soit à la base de la chute que les veines prennent naissance. Nous avons appelé cette partie du glacier un lieu de structure, pour indiquer que c'est là, et non sur le névé, que se produit la structure veineuse.



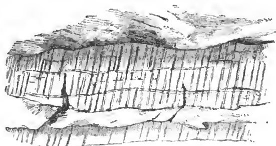

Section de cascade de glace. — 1, 2 et 3, débris et matières terreuses; — entre 3 et 4, structure faiblement marquée; — de 4 à 5, structure prononcée; — 4, 5, 6 et 7, matières terreuses.

Cependant ceci n'est, au fond, que l'expression d'une *opinion* très-forte; ce n'est pas une *démonstration;* et, dans les sciences, on ne doit se contenter d'une opinion que tant qu'il est impossible d'arriver à des preuves positives. L'amour du repos ne doit pas nous empêcher de chercher ces preuves. Il n'y a pas de conscience plus sévère que celle de la science. Elle exige, toutes les fois que cela est possible, que la conviction particulière soit remplacée par une démonstration probante pour tous.

Supposons, par exemple, que l'on nous montre un cas dans lequel la stratification du névé se prolonge dans le glacier; que nous voyions les plans des couches et ceux

des lames existant côte à côte, et néanmoins évidemment distincts. Une semblable observation écarterait définitivement la stratification du problème de la structure veinée; et, ainsi mis à l'abri de cette source d'erreur tentante, nous en deviendrions plus libres de rechercher la vérité.

Nous avons cherché cette preuve concluante sur la Mer de Glace, sans l'y trouver. Nous l'avons cherchée sur les



Structure et stratification du glacier d'Aletsch.

glaciers du Grindelwald et de l'Aar [1], avec aussi peu de succès. C'est sur le glacier d'Aletsch que nous avons, pour la première fois, constaté la coexistence apparente de la stratification et de la structure, l'une *coupant* l'autre sur les parois de la même crevasse. Toutefois ce cas n'était pas assez marqué pour produire une conviction entière, et nous avons visité le glacier de Görner afin de poursuivre nos recherches.

Là, chaque jour augmente en nous la conviction que la stratification et la structure sont deux choses différentes. Et cependant les jours se succèdent sans nous apporter de preuve définitive. Pourtant, nous ne nous sommes pas

1. Cependant M. Agassiz cite un cas de ce genre, observé sur le glacier de l'Aar.

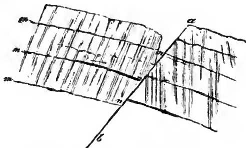
épargnés pour y arriver, et si nous revenons sans avoir réussi, ce sera avec la conscience d'avoir fait de notre mieux. Mais là-bas, au pied du Matterhorn, se trouve le glacier de Furgge que nous n'avons pas encore exploré. C'est là que nous ferons une dernière tentative.

Nous abordons le glacier près de son extrémite, et nous le remontons. Nous nous trouvons bientôt en face d'une barrière composée de trois murailles successives de névé, étagées en gradins. Le pied de chaque muraille est séparé du haut de la muraille suivante par un rebord, sur lequel reposent en ce moment des masses menaçantes d'un névé brisé. Nous sommes entourés de blocs et de débris qui ont évidemment été lancés du haut de ces rebords, sur lesquels d'autres masses se trouvent maintenant en équilibre, et semblent prêtes à tomber à leur tour.

Sur les parois verticales de cette barrière nous voyons, marquées de la manière la plus évidente, les lignes horizontales de la stratification, tandis que quelque chose qui ressemble extrêmement à la structure veinée, paraît couper les lignes de stratification presque à angles droits. Mais la surface verticale a subi l'action du temps, et les lignes de structure sont indistinctes, si telle est réellement leur nature. Il s'agit maintenant d'enlever la surface, de manière à découvrir la glace de dessous. C'est un de ces cas comme il s'en est souvent présenté, et dans lesquels on doit mettre en balance la valeur d'une observation et le danger qu'elle entraîne.

Nous n'agissons pas en téméraires; mais, après avoir examiné les rebords et choisi un point d'attaque, nous décidons que le danger n'est pas trop grand pour qu'on s'y expose. Nous arrivons jusqu'à la muraille, nous en enlevons la surface, et, pour notre récompense, nous trouvons au-

dessous les véritables veines bleues. De plus, ces veines sont verticales, tandis que la stratification est horizontale. Robert Bruce, vous le savez, fut défait dans plus d'une bataille; mais il persévéra, et finit par triompher. Ici, sur




Structure et stratification du glacier de Furgge.

le glacier de Furgge, nous aussi, nous avons gagné notre petite victoire de Bannockburn.

Mais ne nous hâtons pas trop de chanter victoire. Voilà la théorie de la stratification écartée, mais nous n'avons encore rien mis à la place.

*Relation entre la structure et la pression.* — Cette structure veinée a d'abord été décrite par Guyot, naturaliste Suisse fort distingué, qui habite maintenant les États-Unis. De la passe de Grimsel je vous ai déjà montré le glacier de Gries qui s'étend sur les montagnes de l'autre côté de la vallée du Rhône. C'est sur ce glacier que M. Guyot a fait son observation.

« Je vis, dit-il, à mes pieds la surface entière du glacier couverte de sillons réguliers, de 25 à 50 millimètres de large, creusés dans une masse à demi neigeuse, et séparés par des plaques saillantes de glace plus dure et plus transparente. Il était évident qu'ici le glacier se composait de deux sortes de glace, l'une, celle des sillons, neigeuse et

plus facile à fondre; l'autre, celle des plaques, plus parfaite, cristalline, vitreuse et résistante; il était évident aussi que la résistance inégale que les deux sortes de glace opposaient à l'atmosphère, avait produit les sillons.

Après avoir suivi ces sillons sur une étendue de plusieurs centaines de mètres, j'atteignis une crevasse de vingt ou trente pieds de large, qui, coupant à angles droits les plaques et les sillons, laissait voir l'intérieur du glacier jusqu'à dix ou quinze mètres de profondeur, et présentait une magnifique section transversale de la structure. Aussi loin que ma vue pouvait atteindre, je vis la masse du glacier composée de couches de glace neigeuse, séparées entre elles par les plaques dures dont j'ai parlé, et formant une masse lamelleuse régulière, qui ressemblait à certains schistes calcaires. »

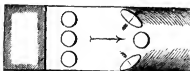
J'ai eu soin de vous indiquer, sur tous les glaciers que nous avons visités, les petits sillons superficiels dont nous venons de lire la description; de plus, vous avez remarqué que c'est surtout dans les sillons que se logent les parcelles terreuses qui se trouvent dispersées sur le glacier. On dirait qu'un râteau a passé sur la glace. Et, toutes les fois que les sillons sont interrompus par une crevasse, la structure veinée se révèle invariablement sur les parois de la fissure. La rayure de la surface est une indication certaine de la structure lamelleuse de la glace à l'intérieur.

Nous avons suivi cette structure dans les différentes parties des glaciers où elle se montre le plus distinctement, et nous avons étudié avec une attention toute particulière l'état de la glace sur ces points. Le fait seul de son intersection à angles droits avec les crevasses, est significatif. Nous connaissons l'origine des crevasses; nous savons que ce sont des fissures qui se forment perpendiculairement

aux lignes de tension. Mais, puisque les crevasses sont perpendiculaires aussi aux plans de structure, ces plans doivent être parallèles aux lignes de tension.

Sur les glaciers cependant, il est rare que la tension se présente seule. Sur les bords du glacier, par exemple, où se forment les crevasses marginales, la tension est toujours accompagnée de pression, ces deux forces agissant dans des directions perpendiculaires entre elles. Ainsi, dans ces endroits, la structure veinée, qui est parallèle aux lignes de tension, *est perpendiculaire aux lignes de pression.*

Il suffit d'un moment pour démontrer ce fait. Représentons par cette figure le lit du glacier, et supposons que



le mouvement s'opère dans la direction indiquée par la flèche. Marquons sur la glace trois cercles, l'un au centre et les deux autres sur les bords. Si la pente était uniforme, tous ces cercles suivraient le mouvement de descente, et celui du centre seul conserverait la forme circulaire. Le ralentissement des bords donnerait aux cercles latéraux la forme ovale. Les deux cercles se trouveraient *allongés* dans un sens et *comprimés* dans l'autre. En travers du grand diamètre, qui est la direction de la tension, se trouvent les crevasses marginales; en travers du petit diamètre *mn*, qui est la direction de la pression, nous avons la *structure veinée marginale.*

Cette réunion de la pression et de la structure est constante. Au pied des cascades, où l'inclinaison du lit du glacier change brusquement, la pression suffit, dans bien

des cas, non seulement pour fermer les crevasses, mais encore pour comprimer la glace avec violence. Sur ces points, la structure se manifeste toujours, et va d'un bord à l'autre du glacier. Quand deux glaciers secondaires se réunissent, leur poussée mutuelle augmente encore la structure marginale qui existait déjà dans chaque affluent et développe de nouveaux plans de lamellation. Aussi trouvons-nous ordinairement une structure bien développée sous les moraines médianes. C'est ce que l'on peut constater, par exemple, sous la grande moraine médiane du glacier de l'Aar.

En effet, sur ce glacier les veines bleues ont été observées trois ans après la première description donnée par M. Guyot, mais d'une manière indépendante de ses travaux. Je dis d'une manière indépendante, parce que la description de M. Guyot, quoique écrite en 1838, ne fut pas imprimée à cette époque, et, en 1841, n'était pas connue des savants explorateurs de l'Aar, M. Agassiz et le professeur Forbes. Ce dernier étudia dans la suite avec beaucoup d'attention la question de la structure, et c'est surtout à ses observations et à ses raisonnements qu'elle doit la position importante qu'elle occupe maintenant parmi les phénomènes des glaciers.

Ainsi, sans quitter les glaciers eux-mêmes, nous établissons le rapport qui existe entre la pression et la structure. Y a-t-il dans notre expérience scientifique antérieure quelque chose dont nous puissions rapprocher ces faits? Dans l'étude de la nature, les connaissances nouvelles doivent toujours se greffer sur les anciennes, et en former pour ainsi dire les rejetons.

*Clivage de l'ardoise et structure lamelleuse de la glace.* — M. Guyot s'est servi d'une expression extrêmement

heureuse, quand il a comparé la structure veinée au clivage de l'ardoise. Etudions ce clivage, car il donne réellement la clef du problème qui nous occupe en ce moment. Pour cela, il nous faut aller aux carrières de Bangor ou du Cumberland, et nous installer sous les hangars des ouvriers qui fendent la roche. Armés d'un outil pointu qu'ils enfoncent adroitement dans le bord de l'ardoise, ils la divisent en plaques minces, dont les unes servent à couvrir nos maisons, tandis que les autres sont destinées aux enfants de nos écoles. Les surfaces suivant lesquelles la roche se divise, sont appelées ses *plans de clivage.*

Dans toute la carrière, on peut voir que la direction de ces plans est absolument constante. Comment s'explique cette structure lamelleuse?

On pourrait voir dans ce clivage un cas de stratification, car il est vrai qu'il se trouve dans différentes parties de l'Angleterre des roches qui peuvent se fendre en plaques minces suivant les plans de stratification. Mais l'examen des roches d'ardoise nous permet de vérifier l'observation, faite, je crois, pour la première fois par l'éminent et vénérable professeur Sedgwick, que les plans de stratification coupent en général ceux de clivage.

Ici, vous le voyez, le cas est tout à fait semblable à celui des lames des glaciers, que nous étions d'abord disposés à attribuer à la stratification. Plus tard, cependant, nous avons vu les plans des lames couper les couches du névé, exactement comme les plans de clivage coupent les couches de la roche ardoisière.

Mais l'analogie ne s'arrête pas là. Le clivage de l'ardoise est resté une énigme pour les géologues, jusqu'à ce que Daniel Sharpe eût découvert que les coquillages et les autres corps étrangers que l'on trouve dans les ro-

ches d'ardoise, sont invariablement aplatis dans les plans de clivage.

Entrez dans n'importe quel musée géologique — celui de l'école des mines de Jermyn Street à Londres, par exemple — et regardez les spécimens qui y sont réunis. Examinez particulièrement les trilobites fossiles qui proviennent de la roche ardoisière. Dans certains cas, la pression les a réduits au tiers de leur épaisseur primitive. D'autres spécimens fort nombreux démontrent de la manière la plus frappante l'aplatissement des coquillages.

Aux preuves données par Sharpe, M. Sorby en a ajouté d'autres très-convaincantes, tirées de l'examen microscopique de la roche ardoisière. De ces deux séries réunies il est impossible de ne pas conclure que cette roche a subi une pression énorme suivant une direction perpendiculaire aux plans de clivage, de même que le glacier a évidemment subi une grande pression perpendiculairement à ses plans de lamellation.

Voilà donc la coexistence de la pression et du clivage démontrée; mais nous devons nous demander si l'une est la cause et l'autre l'effet. Le seul moyen de répondre à cette question est de reproduire artificiellement les conditions qui existent dans la nature, et de voir si nous ne pouvons obtenir ainsi les mêmes résultats.

La substance des roches ardoisières a d'abord été une boue plastique, dans laquelle des fossiles se sont trouvés enveloppés. Imitons l'action de la pression sur cette boue, en la remplaçant par de la cire blanche ramollie. Nous mettons une boule de cire entre deux plaques de verre, préalablement mouillées pour empêcher l'adhérence; puis nous comprimons et nous aplatissons la cire.

Celle-ci est d'abord trop molle pour donner un clivage

bien net ; mais si vous la déchirez, veus pouvez voir qu'elle a pris une texture lamelleuse. Refroidissons-la avec de la glace : jamais ardoise n'a donné un si beau clivage. Il est à peine nécessaire de dire que les plans des lamelles sont perpendiculaires à la direction de la pression.

Une des causes de cette foliation, c'est que la cire est composée de granules dont les surfaces sont les points de moindre cohésion ; or, la pression aplatit ces granules et produit ainsi des plans de moindre cohésion, lesquels sont perpendiculaires à la direction de la pression.

Mais, selon moi, la principale cause du clivage est le glissement latéral des parcelles de cire les unes sur les autres. Ce mouvement détruit leur cohésion primitive, et la remplace par une adhérence insuffisante. Ainsi le glissement selon la tangente produit la lamellation, de même que le glissement des roues des locomotives fait exfolier les rails dans le voisinage d'une station.

Au lieu de cire, nous pouvons prendre l'ardoise elle-même, la pulvériser, y ajouter de l'eau, et reproduire ainsi la boue primitive. En comprimant convenablement cette boue, dans une seule direction, nous reproduisons le clivage.

Rappelons-nous maintenant la propriété qu'a la glace fondante de céder à la pression. Rappelons-nous le raccourcissement du Glacier du Géant, et le rétrécissement du Glacier de Léchaud, à Trélaporte. Une telle substance, soumise à une pression lente, doit céder latéralement. Ses molécules glisseront l'une sur l'autre, et la cohésion détruite se rétablira immédiatement par le regel. Elle ne cèdera pas d'une manière uniforme, mais suivant certains plans. Elle se liquéfiera aussi, non d'une manière uniforme, mais suivant certaines surfaces. Le glissement et

la liquéfaction se produiront surtout perpendiculairement à la pression, d'où résultera la foliation du glacier.

Tant qu'elle est intacte, la glace foliée résiste au clivage. Le regel, comme je l'ai déjà dit, rétablit la cohésion. Mais lorsque cette glace est exposée à l'action des éléments, sa structure se manifeste, et la glace peut alors être fendue en plaques carrées de 30 centimètres, ou même d'un mètre de côté.

## CONCLUSION

Ici, mon ami, se terminent nos travaux. J'ai été réellement heureux de vous avoir si longtemps à mes côtés. C'est à la sueur de notre front que nous avons souvent atteint les sommets où nous appelaient nos études; mais je vous ai toujours trouvé ferme et actif, et prêt, dans toutes les circonstances, à faire usage de vos muscles au lieu de compter sur les miens. J'ai pu, de temps en temps, vous tendre le bras, et vous aider à monter sur une corniche; mais, après tout, vous avez bravement grimpé. C'est ainsi que je voudrais vous instruire toujours, en vous montrant comment il faut vous y prendre pour que le travail vous profite, mais en vous laissant faire le travail : j'aime mieux vous apprendre à surmonter les obstacles par vous-même, que les aplanir et ne vous laisser qu'un chemin facile.

Sur le roc et sur la glace, vous vous êtes toujours montré résolu, prudent, sans crainte, malgré une émotion bien naturelle; et, ce qui est plus rare encore, vous avez déployé une persévérance égale dans le travail intellectuel. Dans ce livre, notre tâche paraît assez simple; mais

nous savons tous deux combien de fois il nous a fallu lutter résolûment avec les faits pour en tirer la signification. Cependant, voici notre œuvre achevée : vous possédez maintenant un fragment de cette science certaine qui est fondée sur l'étude fidèle de la nature. Ne vaut-elle pas bien le prix qu'elle vous a coûté ? Ou plutôt, le paiement de ce prix — l'exercice salutaire, quoique pénible quelquefois, de l'esprit et du corps, sur les monts et les glaciers — ne constitue-t-il pas une partie de notre bonheur?

C'est ici que nous nous séparons. Et, si nous devons ne pas nous revoir, le souvenir de ces jours sera un lien entre nous. — Donnez-moi la main. — Adieu.

# APPENDICE

## CONFÉRENCE DE M. H. HELMHOLTZ.

### LA GLACE ET LES GLACIERS

Le monde de la glace et de la neige éternelle, tel qu'il se déroule sur les cimes des Alpes voisines[1], exerce un charme tout particulier, quelque désert, quelque isolé, quelque dangereux qu'il soit. Non-seulement il fixe l'attention du naturaliste [2] qui vient y puiser les renseignements les plus merveilleux pour l'histoire actuelle et passée du globe terrestre; il attire aussi chaque année, pendant la belle saison, des milliers de touristes de toutes les classes de la

1. Cette conférence a été faite à Heidelberg, pendant que M. Helmholtz était professeur à l'Université de cette ville.

2. Nous donnons aux mots *naturaliste* et *science naturelle* la signification des mots allemands *Naturforscher* et *Naturwissenschaft*. Par *Naturwissenschaft* on entend toutes les sciences qui s'occupent de l'étude de la nature, et l'on donne le nom de *Naturforscher* à tout savant qui étudie l'une de ces sciences.

société, qui viennent y rafraîchir l'esprit et le corps. Les uns se contentent d'admirer de loin la parure éblouissante que prêtent au paysage les flots de lumière pure des cimes neigeuses qui se dessinent entre le fond bleu du ciel et la fraîche verdure des prés; d'autres, au contraire, pleins d'audace, pénètrent dans ce monde étrange, s'exposant volontairement aux plus grandes fatigues et aux plus terribles dangers pour aller jouir de son aspect grandiose.

Je n'essayerai pas, ce qu'on a si souvent essayé en vain, de vous peindre par des mots la beauté de cette nature majestueuse dont l'aspect ravissant étonne le touriste des Alpes. Il me sera bien permis de supposer que la plupart d'entre vous la connaissent pour l'avoir admirée de leurs propres yeux, ou se proposent de l'admirer plus tard. Mais je pense que le plaisir et l'intérêt que vous aurez trouvés dans la contemplation de ces scènes grandioses ne peuvent que vous disposer d'autant mieux à prêter une oreille attentive à l'exposition des principaux phénomènes que la science moderne observe dans le monde de la glace. Là, nous voyons de petites particularités de la glace, qu'en d'autres circonstances on aurait pu considérer comme des subtilités scientifiques, apparaître comme les causes des phénomènes les plus importants des glaciers; des blocs de rochers informes racontent leur histoire à l'observateur attentif, histoire qui souvent remonte bien au-delà du passé du genre humain pour se perdre dans les ténèbres des premiers âges; on constate l'action calme, régulière et bienfaisante de forces naturelles prodigieuses là où le premier coup d'œil ne montrait que des déserts s'étendant à perte de vue dans une solitude inculte et désolée, ou semblant le champ de bataille sur lequel des

forces destructrices se heurtent au milieu d'une confusion terrible et menaçante.

Dans ce sens je crois pouvoir vous promettre que l'étude de l'ensemble de ces phénomènes, — dont je ne puis dans tous les cas vous donner aujourd'hui qu'un aperçu rapide, — ne sera pas simplement pour vous un enseignement prosaïque, mais qu'elle rendra plus vif le plaisir que vous trouvez aux scènes grandioses des montagnes, en augmentant l'intérêt qu'elles ont pour vous et l'admiration qu'elles font naître dans votre esprit.

Permettez-moi de commencer par vous rappeler les traits principaux de l'aspect des champs de neige et des glaciers des montagnes élevées et de les compléter en y ajoutant ce que nous ont appris les mesures exactes. Je passerai ensuite à l'explication de l'ensemble des causes de tous ces phénomènes.

Plus nous nous élevons sur les flancs des montagnes, plus il fait froid. Notre atmosphère est étendue sur la terre comme une couverture chaude; elle est à peu près complétement transparente pour les rayons calorifiques lumineux du soleil, elle les laisse arriver à nous sans leur opposer une résistance appréciable. Mais elle ne laisse pas passer également bien les rayons calorifiques obscurs qui, rayonnés par les corps terrestres échauffés, tendent à se perdre dans les espaces célestes. Ces rayons obscurs, l'air atmosphérique les absorbe, surtout lorsqu'il est humide; de cette manière, la masse d'air s'échauffe elle-même, et ne cède que très-lentement aux espaces célestes sa chaleur acquise. La perte de chaleur est donc ralentie proportionnellement à l'absorption, et il s'accumule ainsi une certaine provision de chaleur à la surface de la terre. Sur les hautes montagnes, la couverture protec-

trice de l'atmosphère est beaucoup plus mince; là, la chaleur rayonnée par la surface de la terre peut s'échapper bien plus rapidement vers les espaces célestes; la provision de chaleur y est donc plus petite, et par suite la température plus basse que sur la plaine.

A cette cause il faut ajouter une autre propriété de l'air qui agit dans le même sens. Lorsqu'une masse d'air se dilate, elle perd une partie de sa chaleur, elle se refroidit si elle ne peut recevoir du dehors une nouvelle quantité de chaleur. Réciproquement, quand l'air se comprime, il reproduit la quantité de chaleur qui a disparu pendant la dilatation. Par exemple, lorsque les vents du sud poussent vers le nord l'air chaud de la Méditerranée, et le forcent à monter au haut de la grande chaîne des Alpes où, comme le fait prévoir la faible pression indiquée par le baromètre, il se dilate en doublant à peu près de volume, il s'y refroidit d'une manière très-considérable — de 16 à 25 degrés Réaumur pour une hauteur moyenne de 11,000 pieds, selon le degré d'humidité de l'air. — En même temps, l'air dépose une grande partie de son humidité à l'état de pluie ou de neige. Ce même air descendant ensuite sur le versant nord des Alpes, dans les vallées et dans les plaines, se condense de nouveau et se réchauffe en donnant naissance au vent connu en Suisse sous le nom de *Foehn*. Ainsi le même courant d'air, qui est chaud des deux côtés de la montagne, est excessivement froid sur les hauteurs, et peut y déposer de la neige, pendant que dans la plaine nous le trouvons insupportablement chaud.

L'abaissement de température sur les hauteurs produit par ces deux causes est déjà très-appréciable sur les montagnes moins élevées qui nous entourent ; dans l'Europe centrale, la température baisse à peu près de 1 degré

Réaumur pour une hauteur de 600 pieds; en hiver cette variation est moindre : environ 1 degré pour 900 pieds. Dans les Alpes où les hauteurs sont plus considérables, on trouve des différences de température beaucoup plus grandes, de sorte que sur les parties supérieures de leurs sommets et de leurs flancs, la neige tombée en hiver ne fond plus en été. On sait que la ligne au-dessus de laquelle la neige couvre le sol pendant toute l'année s'appelle *la limite des neiges perpétuelles;* sur le flanc nord des Alpes elle est à une hauteur d'environ 8000 pieds, sur le flanc sud à une hauteur de 8800 pieds. Au-delà de la limite des neiges, il peut quelquefois faire très-chaud par de belles journées de soleil. Il est même à remarquer que la radiation du soleil que rien n'affaiblit, et que vient encore augmenter la lumière réfléchie par la neige, devient souvent complétement insupportable, de sorte que le touriste habitant des villes a souvent le visage et les mains brûlés par le soleil, sa peau se gonfle et de grandes ampoules se produisent à sa surface; il faut toujours, si l'on ne veut être ébloui, avoir soin de se protéger les yeux à l'aide d'un voile ou de lunettes très-foncées. Des preuves plus gracieuses de l'intensité des rayons solaires sont les couleurs vigoureuses et le parfum intense des petites fleurs des Alpes qui, — abritées dans des fentes de rochers, — fleurissent au milieu des champs de neige. Malgré l'intensité du rayonnement du soleil la température au-dessus des champs de neige ne s'élève qu'à 5 degrés, au plus à 8 degrés Réaumur; elle est cependant suffisante pour fondre une partie considérable des couches de neige superficielles. Mais les heures et les jours de chaleur sont trop courts et trop rares pour venir à bout des grandes masses de neige tombées pendant les saisons froides. La hauteur

de la limite des neiges ne dépend donc pas uniquement de la température des flancs de la montagne, la masse de neige qui tombe chaque année exerce ici une grande influence. Ainsi, par exemple, sur le versant sud de l'Himalaya, chaud mais humide, cette ligne est plus basse que sur le versant nord, plus froid, mais aussi plus sec. Par suite du climat humide de l'Europe occidentale, la neige tombe en grande abondance sur les Alpes, ce qui explique le nombre et l'étendue de leurs glaciers; sous ce rapport fort peu de montagnes peuvent rivaliser avec les Alpes. Nous ne trouvons le monde de la glace dans d'aussi grandes proportions que sur la chaîne de l'Himalaya sous l'influence de plus grandes hauteurs, dans le Groënland et dans les parties du nord de la Norvége où le climat est plus froid, ou bien sur quelques îles où l'humidité est plus grande.

Les lieux situés au-dessus de la limite des neiges sont donc caractérisés par ce fait, que la neige qui est tombée sur le sol dans le courant de l'année, ne fond pas complétement pendant l'été, mais persiste en partie. Cette neige, que n'a pu fondre le premier été, est désormais protégée contre l'influence de la chaleur solaire, parce que l'automne, l'hiver et le printemps répandent sur elle de nouvelles couches de neige. De cette nouvelle neige l'été prochain laissera subsister une partie, et ainsi une année à la suite de l'autre vient superposer de nouvelles couches de neige aux anciennes. Lorsqu'une telle accumulation de neige se termine au bord d'un précipice, il est facile de reconnaître les couches nouvelles régulièrement superposées.

Mais il est clair que cette accumulation de neige, cette superposition d'une couche sur l'autre ne peut ainsi con-

tinuer à l'infini, sans cela la hauteur des pics couverts de neige grandirait d'année en année. Plus la neige s'accumule, plus ses bords deviennent escarpés, plus aussi le poids qui presse sur les couches anciennes, et qui tend à les déplacer, devient considérable. Il doit nécessairement arriver un moment où la pente est trop escarpée pour qu'une nouvelle couche de neige puisse y adhérer, et où la charge qui pousse les couches inférieures à descendre devient trop grande pour que celles-ci puissent rester dans la position qu'elles occupent sur le flanc de la montagne. De cette manière, une partie de la neige primitivement tombée sur les parties élevées de la montagne, au-dessus de la limite des neiges, sera forcée de quitter sa position première et de chercher une nouvelle place ; naturellement elle ne pourra la trouver qu'au dessous de la limite des neiges, sur les parties inférieures du flanc de la montagne, surtout dans les vallées. Mais là, soumise à l'influence d'un air plus chaud, elle fond peu à peu et s'écoule à l'état d'eau. La descente de ces masses de neige du haut de leur position primitive se fait quelquefois brusquement, sous forme d'avalanches, mais le plus souvent d'une manière lente, par les glaciers.

D'après ce qui précède, nous avons donc à examiner successivement deux espèces différentes de champs de glace, savoir : En premier lieu, la neige tombée primitivement, appelée *Firn* dans la Suisse allemande et *névé* dans la Suisse française. Elle se trouve au-dessus de la limite des neiges, couvre les flancs des pics aussi longtemps qu'elle peut y rester collée et remplit les parties supérieures des vallées en y formant de vastes champs de neige appelés *Firnmeer*. En second lieu, nous trouvons les glaciers, appelés *Firner* en Tyrol ; ce sont

les prolongements des champs de neige : ils descendent souvent de 4000 à 5000 pieds au-dessous de la ligne des neiges et le névé des champs de neige s'y retrouve transformé en glace solide et transparente. De là les noms de *Gletscher* en allemand, de *glace* et *glaciers* en français, dérivés du mot latin *glacies*.

L'aspect extérieur des glaciers est très-bien caractérisé par le nom de fleuves de glace que Gœthe leur a déjà donné. Ordinairement, ils descendent des champs de neige en suivant les vallées qu'ils remplissent alors dans toute leur largeur, à des hauteurs souvent considérables. Dans cette marche, les glaciers suivent toutes les sinuosités, toutes les courbures, tous les rétrécissements et tous les élargissements de la vallée. Souvent deux glaciers dont les vallées se réunissent viennent se rencontrer. Les deux fleuves de glace s'unissent alors en un seul fleuve principal qui remplit la vallée commune. En certains endroits ces fleuves de glace présentent une surface assez plane et unie, le plus souvent leur surface est sillonnée de fentes, et, sur la surface comme dans les fentes, coulent d'innombrables filets d'eau plus ou moins considérables, qui transportent au loin l'eau provenant de la fonte de la glace. Tous ces filets se réunissent en un ruisseau qui, dans les grands glaciers, s'échappe à la partie inférieure par une voûte magnifique de glace bleue.

A la surface de la glace se trouve ordinairement une grande quantité de blocs de pierres et de débris de roches, qui, sur les côtés et à l'extrémité inférieure du glacier, s'élèvent en masses puissantes ; on les appelle les moraines latérales et les moraines frontales ou terminales des glaciers. D'autres amas de pierres, les moraines médianes ou centrales, s'étendent en lignes sombres, longues



[illegible] descend de la ligne [illegible] y [illegible]. De là [illegible] et glaciers [illegible]

[illegible] très-bi[illegible] que Gœthe [illegible] des [illegible] souvent [illegible] comme [illegible] ces filets [illegible] glaciers [illegible] de pierres et de débris [illegible] l'extrémité inférieure [illegible] ; on les appelle [illegible] de pierres, les moraines [illegible] en lignes sinueuses [illegible]

Planche VII.

En face la page 197.



Glacier d'Unteraar avec sa moraine centrale.



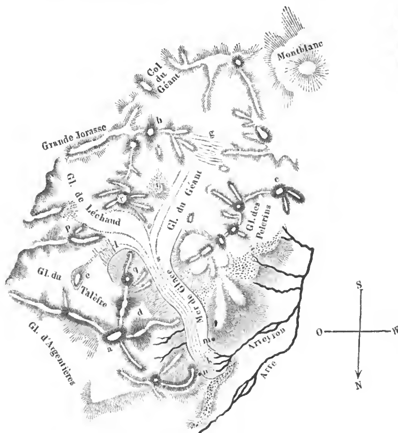
et régulières, sur la surface des glaciers dans le sens de leur longueur. Elles partent toujours des points de rencontre de deux fleuves de glace. Les moraines centrales sont dans ce cas la continuation des moraines latérales des deux glaciers.

La formation des moraines centrales se voit très-bien dans la planche VII qui représente le glacier d'Unteraar. Dans le fond on voit sortir les deux glaciers de leurs vallées respectives, à droite celui du Schreckhom, à gauche celui du Finsteraarhorn. A partir de leur point de réunion on voit ce rempart de pierre qui occupe le milieu de la figure descendre comme moraine centrale. A gauche on aperçoit quelques gros blocs de pierre portés sur des piliers de glace; c'est ce qu'on appelle les plateaux des glaciers.

Pour vous mettre à même de juger de l'ensemble de ces phénomènes sur un théâtre plus vaste, je place sous vos yeux une carte de la Mer de Glace de Chamonix, faites d'après celle de M. Forbes. (Voyez à la page suivante.)

On sait que la Mer de glace est, quant à sa masse, le plus grand des glaciers de la Suisse, bien que, sous le rapport de la longueur, elle le cède au glacier d'Aletsch. Elle est alimentée par les champs de neige des montagnes situées un peu au nord du mont Blanc, dont plusieurs comme la grande Jorasse, l'aiguille Verte (*a*, carte de la Mer de Glace, et coupe de la page 200), l'aiguille du Géant (*b*), l'aiguille du Midi (*c*) et l'aiguille du Dru (*d*) ne sont inférieures que de 2 000 à 3 000 pieds à ce roi des montagnes de l'Europe. Les champs de neige qui s'étendent sur les flancs de ces montagnes et dans les vallées se réunissent en trois fleuves principaux : le glacier du Géant, le glacier du Léchaud et le glacier du Talèfre qui se joignent finalement, comme l'indique la carte, et forment ainsi la Mer

de glace, fleuve de glace de 2 600 à 3 000 pieds de large qui descend dans la vallée de Chamonix ; de sa partie inférieure, en *k*, sort un grand ruisseau, l'Arveyron, qui va




Carte de la Mer de glace de Chamonix.

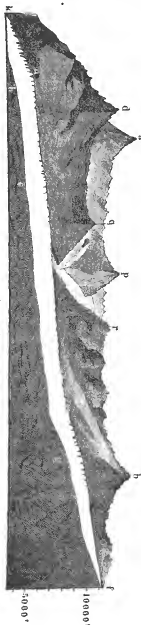
se jeter dans l'Arve. La chute inférieure de la Mer de glace, visible depuis la vallée de Chamonix et qui forme une gigantesque cascade de glace, est ordinairement dési-

gnée sous le nom de glacier des Bois, du nom d'un petit village situé au-dessous.

La plupart des visiteurs de Chamonix ne montent que sur la partie inférieure de la Mer de glace, à partir de l'auberge du Montanvers (*m*) ; s'ils ne craignent pas le vertige, ils traversent le glacier en cet endroit pour gagner la petite maison du Chapeau placée vis-à-vis en *n*. Quoique, comme la carte l'indique, on ne puisse voir et qu'on ne traverse ainsi qu'une partie relativement très-petite du glacier, ce chemin suffit pour faire connaître les scènes grandioses et les difficultés d'une excursion sur les glaciers. Des touristes plus audacieux remontent le glacier jusqu'au Jardin (*e*), roche couverte d'un peu de végétation, qui divise en deux bras le fleuve de glace du glacier du Talèfre. D'autres, plus courageux encore, vont jusqu'au col du Géant (11 000 pieds au-dessus de la surface de la mer), pour descendre du côté de l'Italie dans la vallée d'Aoste.

La surface de la Mer de glace nous montre quatre de ces remparts de pierres désignés sous le nom de moraines centrales. La première, à l'est du glacier, prend naissance à la partie inférieure du Jardin, au point de réunion des deux bras du glacier du Talèfre; la seconde provient de la réunion de ce glacier avec le glacier de Léchaud, la troisième, de la réunion de ces divers glaciers avec le glacier du Géant et enfin la quatrième d'un banc de rochers qui descend de l'aiguille du Géant vers la cascade (*g*) du glacier du Géant.

Pour vous donner une idée de l'élévation et de la pente du glacier, j'ai tracé (p. 200) une coupe longitudinale d'après les nivellements et les mesures de M. Forbes, avec la vue de la rive droite du glacier. Les lettres dési-




Coupe longitudinale de la Mer de glace de Chamonix.

gnent les mêmes objets que dans la carte de la page 198; *p* est l'aiguille du Léchaud, *q* l'aiguille Noire, *r* le mont Tacul, *f* est le col du Géant, le point le plus bas de la haute muraille de rochers qui entoure le bord supérieur des champs de neige alimentant la Mer de glace. La base du dessin correspond à 2 milles allemands ; à l'extrémité droite, les hauteurs au-dessus du niveau de la mer sont indiquées en pieds anglais. La figure montre très-bien combien la pente du glacier est petite dans la plupart des endroits. Quant à la profondeur on ne peut l'apprécier qu'approximativement, car on n'a malheureusement aucune donnée certaine. On peut seulement dire qu'elle est très-considérable ; cela résulte de quelques rares observations accidentelles que je vais signaler.

Sur le Tacul, le bord du glacier du Géant forme, à l'extrémité d'un rocher taillé à pic, une muraille de glace

s'élevant verticalement à une hauteur de 140 pieds. Cette hauteur indique la profondeur que doit avoir sur son bord l'un des bras supérieurs du glacier. Au centre, et après la réunion des glaciers, la profondeur doit être beaucoup plus grande. Un peu au-dessous du point où se réunissent les trois glaciers, MM. Tyndall et Hint sondèrent la profondeur d'un moulin, — c'est-à-dire d'une de ces cavités par lesquelles les eaux de la surface des glaciers descendent jusqu'au fond — : ils trouvèrent 160 pieds de profondeur, et leurs guides affirmèrent à cette occasion qu'ils avaient sondé une fois dans un pareil trou 350 pieds de profondeur, mais on n'a jamais atteint le sol du glacier. En considérant d'ailleurs le sol ordinairement crevassé et plein d'excavations des vallées formées par des rochers à pic, il paraît invraisemblable que, pour une largeur de 3000 pieds, la profondeur moyenne ne soit que de 350 pieds; la manière même dont les glaciers se meuvent fait supposer que sous la partie crevassée se trouve une couche très-puissante et bien adhérente.

Pour vous faire mieux apprécier les grandeurs relatives de la Mer de glace, je vais prendre un exemple qui vous est plus familier : Figurez-vous la vallée de Heidelberg remplie de glace jusqu'à la Molkenkur ou plus haut, de manière que la ville entière avec ses tours et son château soit enterrée dans la glace s'élevant graduellement depuis l'ouverture de la vallée jusqu'à Neckargemünd; tout cela correspondrait à peu près au fleuve unique de la partie inférieure de la Mer de glace.

Ou bien encore, imaginez qu'à la place du Rhin et de la Nahe, près de Bingen, se réunissent deux fleuves de glace remplissant la vallée du Rhin jusqu'à son bord supérieur, aussi haut que le regard peut s'élever; le fleuve

unique formé par leur réunion descendrait vers Asmannshausen et Burg-Rheinstein. Un pareil fleuve de glace aurait aussi à peu près les dimensions de la Mer de glace.

La planche VIII nous montre la puissance des masses de glace qui forment les grands glaciers ; elle représente la partie inférieure du gigantesque glacier de *Gorner*, près de Zermatt.

La surface de la plupart des glaciers est plus ou moins salie par du sable et par une foule de petites pierres qui se rapprochent, à mesure que la glace qui se trouve autour d'elles et au-dessous d'elles disparaît en fondant. A la surface, la fusion a rendu friable la glace qu'elle n'a pas détruite. Mais au fond des crevasses, on aperçoit de la glace d'une pureté et d'une clarté dont la glace que nous voyons dans nos plaines ne peut pas nous donner la moindre idée. Par suite de sa grande pureté elle paraît d'un bleu magnifique, à peine un petit peu plus verdâtre que le bleu du ciel. Les crevasses dans lesquelles on peut admirer la glace de l'intérieur présentent toutes les dimensions. Elles naissent à l'état de simples fentes, dans lesquelles on peut à peine introduire la lame d'un couteau : elles s'élargissent peu à peu, pour former finalement des gouffres de plusieurs centaines ou même de plusieurs milliers de pieds de longueur, de 20, 30, même 100 pieds de largeur; ils sont presque toujours tellement profonds que l'œil ne peut atteindre le fond. Leurs parois verticales, d'un bleu foncé, rendues étincelantes par l'eau qui filtre le long d'une glace pure comme du cristal, forment l'un des spectacles les plus spendides que la nature nous offre, spectacle singulièrement relevé par l'idée des dangers qu'il présente et qui en rendent la jouissance impossible aux touristes qui ne se sentent pas complète-

PLANCHE VIII.

En face la page 202.



Partie inférieure du glacier de Gorner, près de Zermatt.


BIBLIOTHÈQUE DE LA VILLE
1892

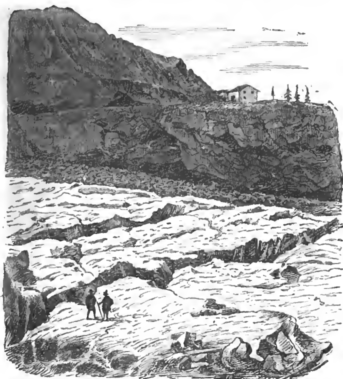
ment exempts de toute prédisposition au vertige. Il faut savoir, à l'aide de souliers bien ferrés et d'un bâton bien pointu, se maintenir sur la glace, sur le bord d'un précipice à pic dont le fond se perd dans les ténèbres de la nuit à une profondeur inconnue. On ne peut pas toujours éviter ces crevasses lorsqu'on veut traverser un glacier. Ainsi, sur la partie inférieure de la Mer de glace, traversée ordinairement par les touristes, on est obligé de marcher sur des bancs de glace étroits et souvent assez inclinés : ces bancs n'ont souvent que 3 ou 4 pieds de largeur, et, des deux côtés, ils sont longés par un de ces gouffres bleus. Plus d'un touriste habitué à marcher sans crainte dans des sentiers taillés dans le roc, au bord d'un précipice, a senti son courage fléchir sur ces ponts de glace ; il est pourtant impossible de détourner les yeux de ces gouffres béants, car il faut soigneusement choisir l'endroit où l'on peut poser le pied. Ces gouffres bleus, ouverts sous nos pieds, sont loin d'être le plus grand danger des glaciers. Mais, nous autres mortels, nous sommes tellement organisés qu'un péril que nous voyons et que, par cela même, nous pouvons facilement éviter, nous effraye plus qu'un autre péril dont nous connaissons bien l'existence mais qu'un léger voile cache à nos yeux. Il en est ainsi des gouffres des glaciers. Dans la partie inférieure des glaciers, ils sont béants devant nos yeux, nous menaçant de la mort : nous reculons effrayés, nous nous armons de prudence pour leur échapper ; c'est à peine s'il y arrive un accident. Sur la partie supérieure des glaciers, la surface est au contraire couverte de neige ; lorsqu'elle tombe avec abondance, les couches épaisses forment voûte sur les crevasses larges seulement de 4 à 8 pieds et les couvrent de manière à les cacher complète-

ment, de sorte que le touriste ne voit devant lui qu'une belle couche de neige bien unie. Lorsque ces ponts de neige sont assez épais ils portent bien un homme ; mais ils ne le sont pas toujours, et ce sont là les endroits où les hommes et même les chamois trouvent le plus souvent la mort. Le moyen d'éviter ce danger consiste ordinairement à s'attacher deux ou trois au moyen d'une longue corde de manière à pouvoir se suivre à 10 ou 12 pieds de distance. Si l'un des touristes tombe dans une crevasse, les deux autres peuvent le retenir et le remonter.

Sur certains points, on peut descendre dans les fentes, surtout à la partie inférieure des glaciers. Sur les glaciers si souvent visités de Grindelwald, Rosenlaui et autres, on facilite l'accès des voyageurs en taillant des marches dans la glace et en y plaçant des planches. Si l'on ne craint pas l'eau qui y suinte continuellement, on peut ainsi descendre assez bas dans les crevasses et admirer les parois de cristal, si merveilleusement transparentes de ces cavités. La belle couleur bleue qu'elles possèdent est la couleur naturelle de l'eau tout à fait pure ; l'eau liquide, comme la glace, est colorée en bleu, mais excessivement peu, de sorte que la couleur ne devient visible que pour des couches de 10 pieds ou plus. L'eau du lac de Genève et du lac de Garde présente la même couleur que la glace.

Les glaciers ne sont pas partout déchirés ; lorsque la glace se heurte contre un obstacle ou bien au milieu de deux grands fleuves de glace s'avançant parallèlement, la surface est tout à fait unie. Voici (en face page 205) une des parties les plus unies de la Mer de glace, dans le voisinage du Montanvers dont la petite maison apparaît dans le fond. Le Griesgletscher peut même être traversé

à cheval à l'endroit où se réunissent la vallée supérieure du Rhône et la vallée de la Tosa. Les endroits les plus déchirés de la surface des glaciers se trouvent naturelle-



Surface de la Mer de glace, près du Montanvers.

ment dans les points où le lit passe d'une pente douce à une pente plus rapide. Là, la glace se déchire dans tous les sens en formant des blocs isolés, auxquels la fusion donne l'aspect de pyramides et de pics pointus de formes très-curieuses, qui se précipitent de temps en temps avec un bruit effroyable dans les gouffres environnants. De

loin un tel endroit ressemble à une cascade sauvage que le froid aurait solidifiée ; de là aussi le nom de cascade qu'on leur donne. Le glacier du Talèfre (voyez la carte,



Glacier des Bois, au bas de la Mer de glace.

page 198) présente une de ces cascades en $l$, le glacier du Géant en présente un autre en $g$, enfin la partie inférieure de la Mer de glace en offre une troisième. Cette dernière, dont nous avons déjà parlé sous le nom de glacier des Bois, et qui s'élève sans transition à une hauteur de 1700 pieds au-dessus du sol de la vallée de Chamonix, hauteur du

Kœnigstuhl, près de Heidelberg, frappe toujours d'admiration le touriste de Chamonix. On voit représentés ici ses blocs de glace déchirés.

Jusqu'ici nous avons comparé les glaciers à des fleuves en nous fondant sur leur aspect extérieur ; cette ressemblance n'est pas purement extérieure. La glace du glacier se meut en effet comme l'eau d'un fleuve, mais moins rapidement. Ce que je vous ai appris déjà sur la formation des glaciers vous prouve qu'il doit en être ainsi. Comme la glace de la partie inférieure des glaciers diminue continuellement par suite de la fusion, elle disparaîtrait nécessairement si de nouvelles masses ne suivaient pas toujours, constamment renouvelées par la chute des neiges sur les champs de neige.

Mais une observation attentive nous permettra de suivre de l'œil le mouvement des glaciers. Tout d'abord, les habitants de la vallée, qui ont toujours devant les yeux le glacier, qui le traversent souvent et qui prennent comme points de repère pour retrouver leur chemin les gros blocs de rochers gisant à sa surface, s'aperçoivent de ce mouvement en voyant ces repères se déplacer chaque année d'une manière sensible vers le bas de la vallée. Par exemple comme la partie inférieure de la Mer de glace de Chamonix se déplace chaque année de 400 à 500 pieds, vous comprendrez très-bien que ces déplacements, malgré la confusion chaotique qui règne parmi ces crevasses et ces masses de pierres, doivent finir par être remarqués.

Le glacier entraîne, outre les pierres, les objets qui se trouvent accidentellement à sa surface. En 1788, le célèbre naturaliste Saussure et son fils, accompagnés d'une caravane de porteurs et de guides, passèrent seize jours

sur le col du Géant ; en descendant le long des rochers, du côté de la cascade du glacier du Géant (*g*, carte de la page 198), ils y abandonnèrent une échelle de bois. C'était au pied de l'aiguille Noire, à l'endroit où la quatrième moraine centrale de la Mer de glace prend son origine; cette ligne indique en même temps la direction suivant laquelle la glace s'éloigne à partir de cet endroit. En 1832, c'est-à-dire quarante-quatre ans plus tard, des morceaux de cette échelle furent retrouvés par M. Forbes et par d'autres voyageurs, un peu au-dessous du point de réunion des trois glaciers de la Mer de glace, sur la moraine centrale dont j'ai parlé (*s*, carte de la page 198) ; il s'ensuit que cette partie du glacier avait glissé en moyenne de 377 pieds par an. En 1827, Hugi s'était bâti une cabane sur la moraine centrale du glacier de l'Unteraar, pour y faire des observations. L'endroit occupé par cette cabane fut déterminé par lui et, plus tard, par Agassiz; chaque année elle descendait un peu. Quatorze ans après, en 1841, elle se trouvait 4884 pieds plus bas ; elle avait donc parcouru, en moyenne, 349 pieds de Paris par an. Agassiz trouva plus tard un déplacement un peu plus faible en observant les positions successives de la cabane qu'il avait construite aussi sur le même glacier. Les observations dont je viens de parler exigeaient un temps très-long. Si l'on observe, au contraire, le mouvement des glaciers avec des instruments de précision, par exemple avec les théodolites dont se servent les arpenteurs, on n'a pas besoin d'attendre des années pour reconnaître le déplacement de la glace, un seul jour suffit.

De semblables observations ont été faites, dans ces derniers temps, par plusieurs observateurs, notamment par M. Forbes et par M. Tyndall. Il résulte de leurs mesures

que la partie centrale de la Mer de glace avance, en été, avec une vitesse de 20 pouces par jour, vitesse qui, du côté de la cascade inférieure, monte à 35 pouces. En hiver, la vitesse est à peu près moitié moindre. Sur les bords du glacier et dans ses couches plus profondes, la vitesse, comme celle de l'eau d'un fleuve, est considérablement plus petite que dans la partie centrale de la surface.

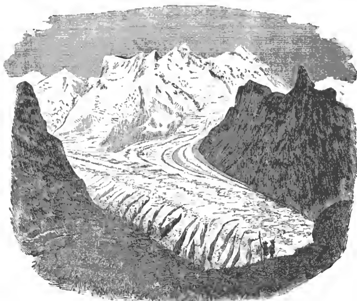
Les affluents supérieurs de la Mer de glace sont animés d'un mouvement moins rapide : il est de 13 pouces par jour pour le glacier du Géant, de 9 pouces et demi pour le glacier du Léchaud. En général la vitesse varie avec les différents glaciers, selon leur grandeur, leur inclinaison, la masse de la neige qui tombe et une foule d'autres circonstances.

Cette énorme masse de glace s'avance ainsi, d'une manière insensible et sans bruit, d'environ 1 pouce par heure. Il faut cent vingt ans à la glace du col du Géant pour atteindre la partie inférieure de la Mer de glace; son mouvement ne frappe pas les yeux de l'observateur superficiel, et cependant elle s'avance avec une force irrésistible, brisant comme des brins de paille tous les obstacles que les hommes pourraient lui opposer, laissant des traces de son passage même sur les parois granitiques de la vallée, comme nous le verrons plus tard. Lorsqu'à la suite d'une série d'années humides, accompagnées de chutes de neige très-considérables dans les hauteurs, la partie inférieure du glacier s'avance, elle pousse devant elle les demeures des hommes, en brisant sur son passage les arbres les plus vigoureux. elle déplace même, sans paraître éprouver de résistance sensible, les remparts formés par les immenses blocs de rochers qui cons-

tituent sa moraine terminale et qui forment des séries de collines très-considérables.

Quel sepctacle vraiment grandiose que ce mouvement, si doux, si contenu, si irrésistible, si puissant!

Ici, je veux encore faire remarquer que la manière même dont les glaciers se meuvent nous apprend où et



Glacier de Gorner, près de Zermatt.

dans quel sens les fentes doivent se former. Comme toutes les couches du glacier n'avancent pas avec une égale rapidité, certains points restent en arrière par rapport à d'autres, par exemple les points voisins des bords par rapport à ceux du centre. Par suite, la distance d'un point donné, situé près du bord, à un point du centre qui se trouve primitivement sur la même hauteur, augmente

constamment, parce que ce dernier se meut plus vite ; comme la glace située entre ces deux points ne peut pas se dilater en proportion de l'augmentation de la distance, elle se déchire et forme des fentes : on peut le voir (p. 210) sur les bords du glacier de Gorner, près de Zermatt. Je me laisserais entraîner trop loin si je voulais vous expliquer la formation de tous les systèmes de fentes régulières qui se produisent dans des endroits déterminés de tous les glaciers ; il me suffira de vous dire que les explications tirées des considérations précédentes concordent très-bien avec les faits observés sur les glaciers.

Cependant je vous ferai encore observer que des déplacements excessivement petits suffisent pour former des centaines de fentes dans la glace. La coupe de la Mer de glace page 200 ($g,c,h$) vous montre des endroits où l'inclinaison de la surface de la glace varie, d'une manière presque insensible, de 2 à 4 degrés. Ce petit changement d'inclinaison suffit pour produire à la surface du glacier un système de fentes transversales. M. Tyndall a, en effet, avancé, et prouvé par des calculs et des mesures, que la masse de glace des glaciers ne se dilate pas du tout, mais qu'elle se brise toujours sous l'influence de la traction.

La distribution des pierres sur la surface des glaciers s'explique tout aussi facilement lorsqu'on considère leur mouvement. Ces pierres ne sont que les débris des montagnes entre lesquelles coule le glacier. Par suite de la décomposition des rochers, ou sous l'influence de la congélation de l'eau qui se trouve dans leurs fentes, il s'en détache des morceaux qui roulent sur le glacier, principalement sur ses bords. Ces débris peuvent rester immédiatement couchés à la surface, ou commencer par

s'enfoncer dans la neige; mais ils finissent toujours par revenir à la surface par suite de la fusion des couches superficielles de neige et de glace; ils se rapprochent de plus en plus, surtout à la partie inférieure du glacier, où la glace qui les sépare se fond plus rapidement. La grandeur des blocs, que la glace charrie avec elle et vient déposer à la partie inférieure du glacier, est souvent colossale. On voit, dans les moraines terminales anciennes et nouvelles, des blocs de rochers de la grandeur d'une maison à deux étages.

Les blocs de pierres se meuvent suivant des lignes qui restent à peu près parallèles entre elles et à la direction longitudinale du glacier. Ceux qui se trouvent au milieu du fleuve de glace restent au milieu, ceux qui sout couchés sur le bord restent sur le bord. Ces derniers sont les plus nombreux, parce que, pendant tout le parcours du glacier, de nouvelles roches peuvent tomber sur le bord et jamais sur la partie centrale du glacier. C'est ainsi que se forment, sur les bords de la glace, les moraines latérales dont les blocs sont en partie entraînés par la glace, en partie déposés sur le sol qui borde le glacier. Mais lorsque deux glaciers se réunissent, leurs moraines latérales se heurtent, forment au milieu du fleuve unique une moraine centrale et glissent, en restant parallèles entre elles et aux rives du fleuve, jusqu'à ce qu'elles atteignent la limite inférieure de la glace qui appartenait primitivement à l'un ou à l'autre des bras du glacier. Ces moraines sont très-remarquables parce qu'elles montrent comment les parties voisines d'un même glacier s'avancent en bandes régulières et parallèles vers les parties inférieures. Il vous suffira de jeter un regard sur la carte de la Mer de glace (p. 198), et de ses quatre moraines centrales pour vous en convaincre.

Sur le glacier du Géant et sur son prolongement dans la Mer de glace, les pierres dispersées à la surface de la glace forment une série de bandes alternativement grises et blanches, des espèces d'anneaux annuels de glace, observés pour la première fois par M. Forbes. En été, il descend une plus grande quantité de glace qu'en hiver par la cascade *g* ; il en résulte que la surface du glacier, au-dessous de la cascade, prend l'aspect de terrasses, ainsi que l'indique la figure. Comme, d'ailleurs, les côtés de ces terrasses qui regardent vers le nord fondent moins rapidement, la glace qui les forme est plus pure. C'est là, d'après M. Tyndall, l'origine probable de ces bandes boueuses. A l'origine elles traversent assez régulièrement le glacier; mais comme, dans la suite, leur centre avance plus rapidement que leurs extrémités, elles prennent une forme bombée. Elles indiquent à l'observateur, par leur courbure même, les vitesses différentes que possèdent les diverses parties de la glace dans l'écoulement des glaciers.

D'autres pierres englobées dans les couches inférieures de la masse de glace jouent un rôle particulier; les unes sont tombées au milieu de ces couches par les crevasses de la surface, d'autres ont été arrachées au sol de la vallée. Ces pierres glissent avec la glace sur le sol de la vallée du glacier, contre lequel elles sont pressées par la charge énorme de glace qui se trouve au-dessus d'elles. Les rochers englobés dans la glace, et ceux qui sont fixés sur le sol de la vallée, sont également durs et se réduisent en poussière sous l'influence du frottement qu'ils exercent les uns contre les autres avec une force devant laquelle disparaissent toutes les forces dont l'homme peut disposer. Le produit de ce frottement est une poussière

excessivement fine, entraînée par l'eau, et qu'on retrouve dans le ruisseau du glacier, auquel elle donne une couleur blanchâtre ou jaunâtre. Quant aux rochers du sol de la vallée, sur lesquels le glacier exerce continuellement son action de frottement, ils sont polis comme s'ils étaient soumis à un gigantesque polissoir. Ils subsistent sous forme de bosses bien polies et à peu près rondes, sur lesquelles on remarque, çà et là, des rayures produites par certaines pierres plus dures ; c'est ainsi que nous les voyons apparaître à l'extrémité des glaciers lorsque, à la suite d'une série d'années chaudes et sèches, la glace se retire un peu. Mais nous trouvons ces rochers polis en bien plus grand nombre dans les parties inférieures de beaucoup de vallées des Alpes, où ils sont les traces laissées par d'anciens glaciers gigantesques. C'est principalement dans la vallée de l'Aar, jusque vers Meyringen, que l'on trouve ces rochers caractéristiques, polis jusqu'à une grande hauteur. C'est là aussi qu'on rencontre ces dalles de pierres polies si célèbres, sur lesquelles passe un chemin, et qui sont tellement glissantes qu'on a été obligé de les entailler pour permettre aux hommes et aux chevaux d'y marcher sans danger.

A côté de ces rochers polis, on trouve encore d'anciennes moraines et des blocs de pierre entraînés qui nous permettent de juger de l'immense extension des anciens glaciers. Les blocs de pierre transportés par les glaciers se distinguent de ceux que l'eau a roulés avec elle, par leur grandeur immense, par la complète conservation de toutes leurs arêtes, dont aucune n'est usée par le roulement, et surtout parce que le glacier les a déposés les uns à la suite des autres, exactement dans l'ordre suivant lequel se succèdent sur la montagne les différentes roches

dont ils proviennent, tandis que les courants d'eau entremêlent toutes les pierres qu'ils entraînent.

En se fondant sur ces caractères, les géologues ont pu démontrer que les glaciers de Chamonix, du mont Rose, du Saint-Gothard et des Alpes bernoises, avançaient par les vallées de l'Arve, du Rhône, de l'Aar et du Rhin jusque dans la plaine de la Suisse et jusqu'au Jura, où ils ont déposé leurs blocs à une hauteur de plus de 1000 pieds au-dessus du niveau actuel du lac de Neuchâtel. Des traces semblables d'anciens glaciers se trouvent sur les montagnes des Iles-Britanniques et de la presqu'île scandinave.

Les glaces flottantes des mers du Nord sont aussi de la glace glacière; les glaciers du Groënland la poussent dans la mer, où elle se détache de la masse totale du glacier pour aller nager au loin. En Suisse, nous trouvons, sur une petite échelle, une formation analogue de glace flottante sur le petit lac Maerjelen, dans lequel entre une partie des masses de glace du grand glacier d'Aletsch. Des blocs de pierre, englobés dans la glace flottante, peuvent ainsi faire de grands voyages par mer. Il est probable que l'énorme quantité de blocs de granit qui se trouvent dans la plaine du nord de l'Allemagne, et dont le granit appartient aux montagnes scandinaves, ont été charriés par des glaçons durant la période même pendant laquelle les glaciers des montagnes de l'Europe avaient pris une si considérable extension.

Malheureusement je suis forcé de m'en tenir là sur l'histoire ancienne des glaciers pour revenir aux phénomènes qui se passent dans les glaciers de nos jours.

Des faits que je viens de vous exposer, il résulte que la glace d'un glacier coule lentement, comme le ferait un

fleuve d'une substance visqueuse, par exemple un fleuve de miel, de goudron ou une bouillie épaisse d'argile. La masse de glace ne se meut pas simplement sur le sol, comme un corps solide qui descend une pente; elle se plie, ses parties glissent les unes sur les autres, et, quoique la masse avance en même temps sur le sol de la vallée, les parties qui touchent le sol ou les parois de la vallée sont sensiblement ralenties par cet immense frottement. Le milieu de la surface du glacier, c'est-à-dire la partie la plus éloignée du sol et des parois de la vallée, se meut au contraire le plus vite.

Un prêtre savoyard, l'abbé Rendu, et le célèbre naturaliste écossais Forbes furent les premiers à faire ressortir l'analogie des glaciers avec un fleuve d'un liquide visqueux. Vous me demanderez, sans doute, avec surprise, comment il se peut que la glace, de toutes les substances connues la moins flexible et la plus cassante, puisse couler dans un glacier comme une substance visqueuse? Vous êtes peut-être très disposés à voir là l'hypothèse la moins naturelle et la plus paradoxale qui ait jamais été créée par l'imagination des naturalistes. Je m'empresse d'ajouter que les naturalistes eux-mêmes ont été singulièrement embarrassés en présence des résultats de leurs recherches. Mais les faits sont là, et ils ne sauraient être niés. La manière dont le mouvement de la glace peut se produire resta longtemps une énigme d'autant plus impénétrable que la facilité avec laquelle se casse la glace apparaît dans les glaciers eux-mêmes par la formation d'innombrables fissures. C'est là, comme M. Tyndall l'a fait remarquer avec raison, une différence essentielle entre les fleuves de glace et les rivières de lave, de goudron, de miel ou d'eau bourbeuse.

La solution de ce curieux problème sortit — comme cela arrive souvent dans les sciences naturelles — de recherches complètement étrangères en apparence à la question. Ces recherches entreprises pour étudier la nature de la chaleur, et dont les résultats constituent une des conquêtes les plus importantes de la physique moderne, sont désignées ordinairement sous le nom de théorie mécanique de la chaleur. A côté d'une foule d'enseignements sur les rapports réciproques des forces de la nature, les principes de la théorie mécanique de la chaleur conduisent à certaines conclusions sur la relation qui existe entre le point de congélation de l'eau et la pression à laquelle sont soumises l'eau et la glace.

Vous savez que nous déterminons l'un des points fixes de notre échelle thermométrique, celui que nous appelons *point de congélation* ou *zéro*, en plongeant le thermomètre dans un mélange d'eau pure et de glace. L'eau — du moins quand elle est en contact avec de la glace — ne peut être refroidie au-dessous de zéro sans se transformer elle-même en glace; la glace ne peut être chauffée au-dessus de zéro sans fondre. Ainsi, de l'eau et de la glace ne peuvent se trouver en présence qu'à la seule température de 0 degré.

Si l'on cherche à échauffer un pareil mélange à l'aide de la chaleur d'une flamme, la glace fond, mais la température du mélange ne peut dépasser 0 degré aussi longtemps qu'il reste une portion de glace non fondue. Ainsi, la chaleur fournie au mélange transforme de la glace à 0 degré en eau à 0 degré, sans qu'on puisse constater la moindre élévation de température à l'aide du thermomètre. Aussi les physiciens disent-ils que la chaleur absorbée est devenue *latente*, et que l'eau à 0 degré contient une

certaine quantité de chaleur latente de plus que la glace à la même température.

Réciproquement, quand nous enlevons de la chaleur à un tel mélange l'eau gèle peu à peu; mais aussi longtemps qu'il reste une portion d'eau liquide, la température ne descend pas au-dessous de 0 degré. Dans ce cas, l'eau à 0 degré abandonne sa chaleur latente pour passer à l'état de glace à 0 degré.

Un glacier est une masse de glace traversée dans tous les sens par des filets d'eau. Toutes les parties intérieures de cette masse sont donc à la température de 0 degré. Les couches inférieures de névé des champs de neige paraissent avoir cette même température dans les parties les plus élevées de nos Alpes. La neige, au moment où elle tombe, a presque toujours une température inférieure à 0 degré. Mais les premiers rayons de soleil fondent les couches de la surface; l'eau ainsi produite s'infiltre dans les couches plus profondes et plus froides, où elle continue à se transformer en glace jusqu'à ce que toutes les couches aient pris une température uniforme de 0 degré. A partir de ce moment, la température reste invariable. En effet, les rayons du soleil peuvent bien fondre la glace de la surface, mais jamais ils ne peuvent élever sa température au-dessus de 0 degré. Le froid de l'hiver ne pénètre pas non plus profondément dans ces couches de neige et de glace qui sont fort peu conductrices, pas plus qu'il ne pénètre dans nos caves. Les couches inférieures des champs de neige, comme celles des glaciers, restent donc indéfiniment à la température de 0 degré.

Mais la température du point de congélation de l'eau peut être modifiée par une forte pression. M. James Thomson, de Belfast, le premier, et M. Clausius, de Zu-

rich, peu après, arrivèrent à cette conséquence en partant de la théorie mécanique de la chaleur, qui fournit même le moyen de déterminer à l'avance la grandeur de la variation produite par la pression. Le point de fusion descend de $\frac{1}{144}$ de degré Réaumur pour une pression de une atmosphère. Le frère de M. Thomson, sir W. Thomson, le célèbre physicien de Glasgow, confirma par l'expérience les conséquences de la théorie, en comprimant un mélange de glace et d'eau dans un vase suffisamment solide : celui-ci se refroidissait de plus en plus à mesure que la pression montait, et cela dans des proportions conformes aux conséquences théoriques.

Quand un mélange d'eau et de glace se refroidit sous l'influence de la pression, cela suppose que de la chaleur latente devient libre, c'est-à-dire qu'une partie de la glace fond pour se transformer en eau. C'est là aussi la raison pour laquelle la pression influe sur la température de fusion de la glace. Vous savez que la glace occupe un espace plus grand que l'eau dont elle provient. Lorsque de l'eau gèle dans un vase hermétiquement fermé, elle brise non-seulement des enveloppes de verre, mais même des bombes en fer. Ainsi, par le fait même de la fusion d'une partie de la glace lors de la compression d'un mélange de glace et d'eau, le volume de la masse diminue, et celle-ci peut céder à la pression qu'elle supporte, plus qu'elle ne le pourrait sans ce changement de la température de fusion. La pression mécanique facilite dans ce cas la fusion, c'est-à-dire la production d'un changement favorable au développement de sa propre action ; on peut observer la même chose dans presque toutes les actions réciproques des forces de la nature.

Dans l'expérience de M. W. Thomson, l'eau et la glace étaient renfermées dans un vase d'où rien ne pouvait s'échapper. La question prend une tournure un peu différente, lorsque l'eau qui se trouve entre les morceaux de glace comprimés peut s'échapper par des fentes, comme cela arrive dans les glaciers. La glace est toujours comprimée, mais non plus l'eau qui s'échappe. La glace comprimée se refroidit alors d'une quantité correspondante à l'abaissement de son point de congélation par la pression, mais le point de congélation de l'eau qui n'est pas comprimée ne change point. Nous avons donc, dans ces circonstances, de la glace au-dessous de 0 degré. Il en résulte que tout autour de la glace comprimée une partie de l'eau se congèle ; tandis qu'en même temps une partie de la glace comprimée continue à fondre.

C'est ce qui arrive déjà lorsqu'on presse l'un contre l'autre deux morceaux de glace. L'eau gèle sur les surfaces en contact ; les deux morceaux de glace se soudent et ne forment plus qu'une masse continue. Lorsque la pression est forte, la glace se refroidit beaucoup, et l'union se fait très-rapidement ; mais on peut réussir à souder les deux morceaux sous une faible pression : il suffit pour cela d'attendre plus longtemps. M. Faraday, qui a découvert ce phénomène, lui a donné le nom de *regélation* de la glace ; on a beaucoup disputé sur l'explication de ce phénomène ; je vous ai donné celle qui me paraît la plus satisfaisante.

L'union de deux morceaux de glace se fait très-facilement lorsqu'on se sert de deux fragments de formes convenables, dont la température n'est pas inférieure à 0° ; elle réussit mieux lorsque les morceaux ont déjà com-

mencé à fondre [1]. Il suffit de les presser pendant quelques instants l'un contre l'autre pour les souder. Plus les surfaces en contact sont unies, mieux elles se soudent par la regélation. Une pression même très-petite peut suffire lorsque le contact est prolongé.

Cette propriété de la glace est mise à profit par les enfants lorsqu'ils font des pelotes ou des hommes de neige. Pour que cela soit possible il faut que la neige ait déjà commencé à fondre ou que sa température soit assez peu inférieure à 0° pour que la chaleur de la main suffise à la ramener à la température de fusion. La neige très-froide forme une poudre sèche qui ne s'agglutine pas du tout.

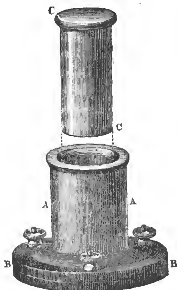
Ce que les enfants font en petit, en fabriquant leurs pelotes de neige, se passe sur une échelle immense dans les glaciers. Les couches inférieures du névé, primitivement à l'état de poudre fine, sont comprimées par les masses de neige qui s'élèvent au-dessus d'elles en montagnes de plusieurs centaines de pieds de hauteur. Sous l'influence de cette pression, elles se pelotent pour former une masse de plus en plus dense. La neige qui vient de tomber consiste en petites aiguilles de glace microscopiques très-fines, formant de charmantes petites étoiles hexagonales. Dès que les couches supérieures des champs de neige reçoivent les rayons du soleil, elles fondent en partie; l'eau provenant de leur fusion s'infiltre dans la neige et va se geler dans les couches plus profondes au contact de la neige plus froide. Elle donne à celle-ci un aspect granuleux, et la ramène à la température de 0°. Mais comme

1. Le professeur se servait d'une série de petits cylindres de glace obtenus par un procédé indiqué plus loin; on les pressait l'un contre l'autre par leurs surfaces planes, et l'on parvenait ainsi à former un bâton de glace cylindrique.

le poids des masses de neige superposées va en grandissant sans cesse, cette neige granuleuse se soude et prend enfin l'aspect d'une masse très-dure et très-dense.

En employant une pression convenable, nous pouvons reproduire artificiellement cette transformation de la neige en glace.

Vous voyez ici un vase cylindrique de fonte AA; la plaque du fond BB est maintenue par trois vis et peut être enlevée lorsqu'on veut sortir le cylindre de glace formé à l'intérieur. Après avoir maintenu ce vase pendant quelques instants dans de la glace fondante, pour le refroidir jusqu'à 0°, on le remplit de neige; on y introduit ensuite au moyen d'une presse hydraulique le piston CC qui remplit la capacité intérieure tout en y entrant facilement. La presse hydraulique dont je me sers permet de porter jusqu'à 50 atmosphères la pression à laquelle on soumet la glace. Naturellement, la neige soumise à cette grande pression n'occupe plus qu'une place excessivement réduite. On supprime alors la pression, on sort le piston et, de nouveau, l'on remplit de neige le cylindre. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait rempli la cavité



Moule de fonte servant à comprimer la neige et la glace.

entière du vase AA d'une masse de glace qui ne cède plus sous l'action de la presse. Si je sors maintenant la neige comprimée vous verrez qu'elle s'est transformée en un cylindre de glace dure, aux arêtes bien tranchées, présentant une apparence trouble. Vous allez vous faire une idée de sa dureté en entendant le bruit qu'il produit en se brisant au moment où je le lance sur le sol.

De même que la neige des champs de neige se comprime dans les glaciers pour former de la glace, de même des morceaux de glace tout formés, mais irréguliers, se réunissent en une couche de glace transparente et unie. Ce phénomène s'accomplit de la manière la plus surprenante au pied des cascades des glaciers. On rencontre des cascades dans lesquelles la partie supérieure du glacier vient se terminer au bord d'un rocher à pic, d'où il précipite ses immenses blocs de glace sous forme d'avalanches. Les blocs brisés, dont les éclats s'entassent au pied du rocher, se réunissent de nouveau en une masse unie, qui poursuit son chemin à l'état de glacier. On rencontre bien plus souvent des endroits où le fleuve de glace ne se déchire pas complètement, mais où le sol de la vallée s'incline brusquement. Tels sont par exemple certains endroits sur lesquels j'ai appelé déjà votre attention : la cascade du glacier du Géant, le point *g* de la Mer de glace (carte p. 198), les points *i* et *h* de la grande cascade terminale du glacier des Bois. Dans ces endroits, la glace se brise en milliers de blocs et de bancs, qui se réunissent de nouveau en grandes masses continues à la partie inférieure de la pente.

Nous pouvons encore imiter ici la nature au moyen de notre cylindre de fonte. Au lieu d'y introduire de la neige, j'y jette maintenant des morceaux de glace irréguliers, et

je comprime ; j'ajoute de nouveaux morceaux de glace, et j'opère comme dans l'expérience précédente, jusqu'à ce que le cylindre soit complètement plein. En sortant la masse comprimée, je constate qu'elle forme un cylindre unique de glace assez claire, à arêtes bien tranchées, et qu'elle remplit exactement la forme intérieure du cylindre.

Cette expérience, qui est due à M. Tyndall, montre que, sous l'influence de la pression, on peut donner une forme quelconque à un bloc de glace, absolument comme à un morceau de cire. On pourrait croire qu'un pareil bloc commence par se réduire en poussière très-fine sous l'action de la pression ; que, dans cet état, elle remplit tous les coins de la forme, et que cette poudre analogue à la neige se réunit de nouveau en une seule masse par la congélation. On pourrait d'autant mieux songer à cette explication que, pendant la compression, on entend continuellement la glace craquer dans l'intérieur du cylindre. Mais le seul aspect du cylindre produit par la compression des morceaux de glace nous apprend qu'il ne s'est pas formé de cette manière. En effet, ce cylindre est beaucoup plus transparent que ceux qui ont été formés avec de la neige, et l'on y reconnaît encore les morceaux isolés qu'on a employés, quoique leur forme se soit modifiée en s'aplatissant. L'expérience est très-belle, lorsqu'on commence par introduire dans la forme des morceaux de glace, et qu'on achève de remplir avec de la neige. Le cylindre est alors composé de couches alternativement transparentes et troubles ; les premières provenant de la glace, les dernières de la neige. Dans ce cas, on distingue encore les morceaux de glace transparents comprimés en plaques.

Ces remarques nous apprennent déjà que la glace n'a

pas besoin d'être préalablement réduite en poussière pour prendre, sous l'action de la pression, la forme d'un cylindre, mais qu'elle est capable de céder sans que ses parties cessent d'être adhérentes. Nous pouvons nous en convaincre d'une manière plus saisissante encore, et nous faire une idée plus exacte de la raison pour laquelle la glace obéit à la pression. Au lieu de comprimer la glace dans un moule fermé au milieu duquel nos regards ne peuvent pénétrer, nous la comprimons entre deux plaques de bois.

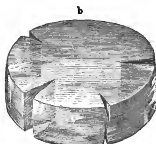
Je place tout d'abord, entre les deux plateaux de la presse, un morceau de glace plus ou moins cylindrique pris à la surface d'une rivière couverte de glace et pourvu de deux faces planes. Je fais marcher la presse. Sous l'influence de la pression, le morceau de glace se brise; chacune des fentes qui se produisent traverse de part en part toute la masse, laquelle se divise en une foule de grands morceaux qui se fendillent et se divisent à leur tour lorsque j'augmente l'action de la presse. Quand j'interromprai la pression, vous remarquerez que tous ces morceaux se sont regelés et forment une espèce de plaque irrégulière; mais l'aspect de l'ensemble nous montre que si la glace a changé de forme, c'est moins parce qu'elle a cédé à la pression que parce qu'elle s'est brisée. D'ailleurs, tous les morceaux ont complétement changé de position les uns par rapport aux autres.

Les choses se passent tout autrement si je place, entre les plateaux de la presse, un de nos cylindres produits en comprimant de la glace ou de la neige. Dès que j'augmente la pression, on entend de nouveau des craquements; mais le cylindre ne se rompt pas : il change peu à peu de forme, et s'affaisse de plus en plus en s'élargissant. C'est seulement plus tard, lorsque le cylindre a déjà pris

la forme d'une plaque cylindrique, qu'il commence à se déchirer sur les bords, et reproduit en petit les fissures

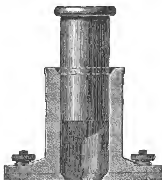



Cylindre de glace sortant du moule de fonte AA.




Gâteau de glace obtenu en comprimant le cylindre (*a*) entre les plateaux d'une presse hydraulique.

des glaciers. La figure *a* indique la hauteur et le diamètre d'un pareil cylindre dans son état initial, la figure *b* le montre lorsqu'il sort de la presse.



Section transversale du moule de fonte dont dont le fond a été remplacé par une plaque percée d'une ouverture conique.

Nous aurons une preuve plus convaincante encore de la facilité avec laquelle se travaille cette glace, en forçant le cylindre, comprimé dans la forme, à passer par une ouverture étroite. A cet effet, je remplace la plaque du fond par une autre plaque percée d'une ouverture conique d'un diamètre égal aux $\frac{2}{3}$ du diamètre de la forme. Voici une section transversale de tout le système. Si j'introduis

maintenant dans cette forme un des cylindres comprimés des expériences précédentes, et que j'enfonce le piston, je force la glace à sortir par l'ouverture inférieure. On la voit apparaître au commencement sous la forme d'un cylindre solide de même diamètre que l'orifice. Mais comme la glace sort plus rapidement au milieu que sur les côtés, l'extrémité libre du cylindre se voûte, de sorte qu'on ne peut la faire rentrer par l'ouverture qui lui a servi d'issue. *a,b,c* représentent les différentes formes qui se montrent successivement.




Formes successives du cylindre de glace sortant de l'ouverture conique.

Dans ce cas, les fentes qui se produisent dans le cylindre de glace sortant par l'ouverture, présentent une ressemblance frappante avec les fentes longitudinales qui divisent le courant d'un glacier à l'endroit où le glacier pénètre dans une vallée plus large, en passant par un ravin étroit formé par des rochers [1].

Les expériences que je viens de vous exposer, nous ont montré la glace changeant de volume sous nos yeux, tout en conservant sa continuité, sans se briser en morceaux. Le bloc de glace rigide semble même s'aplatir comme de la cire.

1. Pendant ces expériences, la basse température de la glace comprimée se propageait à travers la forme de fonte de manière à transformer en une plaque très-mince l'eau qui se trouvait entre la plaque du fond et le cylindre. On avait cependant eu soin de laisser séjourner le cylindre de fer et les morceaux de glace dans de la glace fondante.

En observant d'une manière plus attentive le cylindre transparent produit par la compression des morceaux de glace transparente, au moment où la presse commence à fonctionner, nous pouvons nous rendre compte de ce qui se passe dans l'intérieur du moule. Nous voyons en effet une quantité innombrable de fissures enchevêtrées le traverser comme un nuage trouble. Le plus grand nombre de ces fissures disparaît un instant après, lorsqu'on interrompt l'action de la presse ; il en reste cependant quelques-unes. Un pareil bloc de glace, sortant de la presse, est sensiblement plus trouble qu'avant son introduction. Ainsi qu'on peut le reconnaître à l'aide de la loupe, cela tient à une grande quantité de lignes capillaires blanchâtres qui traversent en tous sens l'intérieur de la masse de glace, du reste transparente. Ces lignes ne sont que la traduction optique de fissures excessivement fines sillonnant la masse de glace [1].

Nous pouvons conclure de là que le bloc de glace comprimé est traversé par une multitude de petites fissures et de petites fentes, qu'il cède à l'influence de la pression parce que ses particules se déplacent et se soustrayent ainsi à son action. Dès que la pression cesse d'agir, la plus grande partie de ces systèmes de fentes disparaît par la congélation. Mais dans les endroits où le déplacement des particules de glace est tel que les surfaces de ces

1. Ces fissures sont probablement vides d'air ; car elles se forment encore lorsqu'on comprime, dans la forme de fonte, des morceaux de glace transparente entourés d'eau qui empêchent complétement l'accès de l'air. M. Tyndall a déjà montré qu'on rencontre des fissures sans air dans la glace glacière. Lorsque la glace ainsi comprimée fond lentement, ces fissures se remplissent complètement d'eau sans laisser de bulles d'air. Par ce fait les fissures deviennent beaucoup moins visibles, et tout le bloc acquiert plus de transparence, ce qui prouve qu'elles ne peuvent pas contenir d'eau au moment où elles se forment.

particules ne se correspondent plus exactement, il reste des traces de fissures. Ces fissures se trahissent au regard par suite de la réflexion de la lumière qui y pénètre et qui leur donne l'aspect de lignes et de surfaces blanchâtres.

Ces fentes et ces surfaces de séparation de la glace comprimée deviennent encore plus apparentes lorsque la glace qui est descendue au-dessous de 0° pendant la compression, comme je vous l'ai expliqué plus haut, s'échauffe de nouveau jusqu'à ce point et commence à fondre lentement. Alors les fentes se remplissent d'eau, et le morceau de glace consiste en une infinité de petits grains de glace dont la grosseur varie depuis celle d'une tête d'épingle jusqu'à celle d'un petit pois. Ces grains sont intimement reliés par leurs arêtes et leurs angles, et sont souvent encore enchevêtrés lorsque les fentes très-fines qui les séparent sont déjà pleines d'eau. Si d'un de ces blocs, composés de grains de glace, on détache avec l'ongle de petits morceaux d'une arête, on y reconnait des grains polyédriques. Du reste, la glace des glaciers présente exactement la même composition, avec cette différence que les morceaux dont elle est formée sont plus grands que ceux de la glace comprimée artificiellement, et atteignent la grosseur d'un œuf de pigeon.

La glace glacière et la glace comprimée nous apparaissent donc comme des substances à structure grenue, par rapport à la glace cristallisée régulièrement telle qu'elle se forme à la surface des eaux tranquilles [1]. Nous trouvons entre ces deux espèces de glace la même différence qu'entre le spath calcaire et le marbre, tous deux

1. Voyez la leçon de M. Bertin sur la *Constitution de la glace*, n° 24 de la *Revue des cours scientifiques*, 3e année (1866).

formés par du carbonate de chaux. Le premier est à l'état de grands cristaux réguliers; le marbre, au contraire, est formé par un assemblage irrégulier de grains cristallins. Dans le spath calcaire, comme dans la glace cristallisée, des fentes qu'on peut faire avec un couteau, se propagent au loin dans la masse, tandis qu'une fissure qui se produit dans l'un des grains de la glace granuleuse ne s'étend pas nécessairement au delà du grain même.

La glace formée artificiellement par la compression de la neige, et par conséquent primitivement composée d'une quantité innombrable de petites aiguilles cristallines, est très-plastique. Cependant elle se distingue immédiatement par son aspect de la glace des glaciers, parce qu'elle est très-trouble à cause de la grande quantité d'air contenu dans la masse floconneuse de la neige, et qui y reste emprisonné sous forme de bulles. On peut rendre ce fait plus évident en comprimant cette masse entre deux plaques de bois : on voit alors s'échapper de la surface du cylindre des bulles d'air sous forme d'écume. On peut casser la plàque de glace ainsi formée pour la replacer dans la forme de fonte et la comprimer de nouveau en un cylindre; en continuant ainsi à pétrir la glace on parvient à éliminer l'air de plus en plus et à rendre la glace de plus en plus claire. C'est certainement de la même manière que la masse blanchâtre de névé se transforme peu à peu en glace glacière transparente.

Enfin, si l'on comprime les cylindres obtenus par la compression de couches alternatives de neige et de glace pour en former des plaques aplaties, il se produit des bandes fines, provenant de ce que les couches claires et les couches blanchâtres s'étendent très-régulièrement.

On trouve dans beaucoup de glaciers de la glace pré-

sentant des bandes de ce genre; M. Tyndall pense qu'elles proviennent de la neige tombée entre les blocs des cascades de glace. Ce mélange de neige et de glace transparente est comprimé dans le cours ultérieur du glacier et étiré en bandes par suite de son mouvement; c'est donc un phénomène tout à fait analogue à celui que nous avons produit artificiellement.

Vous voyez comment le glacier, avec ses blocs de glace entassés pêle-mêle les uns au-dessus des autres, avec ses surfaces désolées, couvertes de pierres et de boue, avec ses crevasses béantes qui menacent de nous engloutir, s'est transformé sous les yeux de l'observateur en un fleuve majestueux, plus calme et plus régulier que tout autre fleuve; obéissant à des lois déterminées, il se rétrécit, s'élargit, s'élève ou se jette dans des précipices en se brisant avec fracas. Si nous le suivons maintenant au delà de ses limites, nous voyons l'eau produite par la fusion de la glace, réunie en un ruisseau important, sortir par la porte de glace du glacier et s'écouler au loin. Il est vrai de dire qu'un pareil ruisseau, au moment où il sort de dessous les glaces, est singulièrement bourbeux, parce qu'il emporte avec lui toute la poussière des rochers polis par le glacier. On est tout désappointé de voir cette belle glace bleue, si merveilleusement transparente, transformée en une eau aussi sale. En réalité, l'eau des ruisseaux de glacier est par elle-même aussi belle et aussi pure que la glace, quoique, au premier abord, sa beauté nous soit cachée. Il faut aller retrouver ces ruisseaux après qu'ils ont traversé un lac dans lequel s'est déposée leur poussière. Les lacs de Genève et de Thun, le lac des Quatre-Cantons, le lac de Constance, le lac Majeur, les lacs de Côme et de Garde, sont principalement alimentés par l'eau des glaciers; la

limpidité, et l'admirable couleur bleue ou bleu verdâtre de leurs eaux, font le charme de tous les touristes.

Mais laissons là le beau et cherchons l'utile; nous trouverons encore plus de raisons d'admirer. Cette poussière de roche si laide, entraînée par les glaciers, produit, partout où elle se dépose, un sol très-fertile. Elle présente la forme d'une poudre très-fine; et, de plus, elle constitue un terrain vierge très-riche en principes minéraux assimilables par les plantes. Les couches d'argile très-fine qui couvrent toute la vallée du Rhin jusqu'en Belgique ne sont en réalité que de la poussière de roche provenant d'anciens glaciers.

La distribution de l'humidité, dans une contrée qui contient des champs de neige et des glaciers, présente des caractères particuliers. Tout d'abord, l'humidité est plus abondante, parce que l'air humide qui passe au-dessus des glaciers y dépose, sous forme de neige, l'eau qu'il contient. En second lieu, c'est en été que la neige fond le plus rapidement, de sorte que les sources alimentées par les champs de neige coulent avec le plus d'abondance précisément dans la saison pendant laquelle le besoin d'eau se fait le plus sentir.

Nous apprenons ainsi à connaître, sous un autre aspect, ces déserts de glace. C'est des glaciers que proviennent ces mille petits filets, sources et ruisseaux, dont l'humidité fertilisante permet aux laborieux habitants des Alpes d'arracher aux flancs sauvages des montagnes l'herbe savoureuse et des aliments en abondance. Ce sont les glaciers qui engendrent, sur la surface comparativement petite de la chaîne des Alpes, les fleuves les plus puissants, — le Rhin, le Rhône, le Pô, l'Etsch, l'Inn, — qui traversent l'Europe en sillonnant des centaines de lieues de larges

vallées fertiles, pour aller se jeter dans la mer du Nord, dans la Méditerranée, dans la mer Adriatique et dans la mer Noire. Vous rappelez-vous comment Gœthe, dans son *Chant de Mahomet*, a décrit le cours du ruisseau sorti du rocher, depuis son origine dans les nuages jusqu'à son union avec le père Océan ? Il serait téméraire de le dépeindre après lui en d'autres termes que les siens :

« Dans son cours triomphal, il donne des noms aux contrées ; des villes naissent sous ses pieds. Irrésistible, il se précipite en avant, laissant derrière lui les sommets dorés des tours, des palais de marbre, toute une création sortie de son sein. Ce nouvel Atlas porte des maisons de cèdre sur ses épaules ; des milliers de pavillons flottent au-dessus de sa tête, témoin de sa gloire. Frémissant de plaisir, il va porter ses frères, ses trésors, ses enfants dans les bras de celui qui lui a donné la vie. »

H. Helmholtz.

---

ÉTUDE DE M. H. HELMHOLTZ SUR LA REGÉLATION

La théorie de la regélation de la glace a donné lieu à des discussions scientifiques entre MM. Faraday et Tyndall d'un côté et MM. J. et W. Thomson de l'autre. Dans ma leçon, j'ai admis la théorie de ces derniers ; je vais donner les raisons qui me l'ont fait choisir.

Les expériences de M. Faraday prouvent qu'une pression très-petite, — même celle que produit la capillarité sur la couche d'eau qui se trouve entre deux morceaux de glace, — suffit pour unir ceux-ci. M. James Thomson a déjà fait remarquer que, dans les expériences de M. Faraday, la pression qui unit les deux morceaux de glace ne fait pas absolument défaut. Je me suis assuré, de mon côté, par des expériences, que cette pression peut

être excessivement petite. Il faut cependant remarquer que, plus la pression est faible, plus il faudra de temps pour que la soudure des morceaux de glace ait lieu. Dans ce cas, les *ponts de glace* qui relient les deux morceaux sont très-étroits et se brisent aisément. La théorie de M. J. Thomson explique facilement ces deux phénomènes. En effet, lorsque la pression est peu élevée, la différence de température entre l'eau et la glace devient très-faible, et les couches d'eau qui sont en contact avec les parties comprimées de la glace ne perdent que très-lentement leur chaleur latente : il leur faut donc nécessairement un temps très-long pour se geler. On doit aussi remarquer que les deux surfaces de glace en contact ne peuvent pas être considérées comme absolument planes ; sous une faible pression, qui ne peut pas modifier leur forme d'une manière sensible, les deux morceaux ne se toucheront donc, pour ainsi dire, que par trois points. Concentrée sur des surfaces de contact si petites, la pression totale, quelque faible qu'elle soit, pourra produire une pression locale suffisamment grande pour faire fondre une petite portion de la glace et regeler l'eau ainsi formée; mais les points de soudure n'occuperont qu'une très-petite surface.

Lorsque la pression est plus forte, les formes des morceaux de glace comprimés peuvent mieux se modifier et s'adapter, les points en contact fondent plus rapidement; nous constatons des différences de température plus grandes entre la glace et l'eau : par suite, les ponts se forment plus vite et deviennent plus larges.

Pour faire ressortir cette action lente, produite par de faibles différences de température, j'ai fait l'expérience suivante : J'ai rempli à moitié d'eau un ballon de verre à

col effilé, j'ai fait bouillir de manière à chasser tout l'air contenu dans le ballon, enfin j'ai fermé au chalumeau pendant l'ébullition. Après le refroidissement, le ballon est vide d'air, et l'eau qu'il contient n'est plus soumise à la pression atmosphérique. Dans ces conditions, l'eau enfermée dans le ballon peut être refroidie considérablement au dessous de 0 degré avant qu'il ne commence à s'y former de la glace; mais une fois que la solidification a commencé, elle se poursuit même à la température de 0 degré. J'ai donc placé d'abord le ballon dans un mélange réfrigérant jusqu'à ce que l'eau ait été transformée en glace; j'en ai ensuite laissé fondre lentement à peu près la moitié, en maintenant le ballon dans une atmosphère à + 2 degrés.

Le ballon, dans lequel un morceau de glace nageait sur l'eau, fut ensuite complètement entouré d'un mélange d'eau et de glace. Après une heure environ, la glace intérieure s'était fixée par la congélation sur les parois de verre du ballon. On l'en détachait en secouant le ballon, on remettait celui-ci dans le mélange, et, après chaque expérience, la glace était de nouveau adhérente aux parois. On maintint le ballon pendant huit jours dans le mélange à 0 degré. Il se forma au fond du ballon des cristaux de glace très-réguliers et très-nets, qui croissaient très-lentement. C'est peut-être là la meilleure méthode à suivre pour obtenir des cristaux de glace bien formés.

Ainsi, pendant que la glace extérieure, qui se trouve sous la pression d'une atmosphère, fond peu à peu, l'eau intérieure dont le point de congélation, par suite de la moindre pression, s'est élevée de 0°,0075, donne naissance à des cristaux de glace. La chaleur enlevée à l'eau dans cette expérience était obligée de traverser toute l'épais-

seur des parois du ballon, ce qui, ajouté à la petite différence de température, explique la lenteur avec laquelle s'effectue la congélation.

La pression d'une atmosphère sur 1 millimètre carré équivaut à peu près à un poids de 10 grammes. Un petit morceau de glace du poids de 10 grammes, couché sur un autre avec lequel il a trois points de contact occupant ensemble une surface d'un millimètre carré, exerce donc déjà une pression d'une atmosphère, qui suffit pour produire la congélation des couches d'eau voisines plus rapidement que ne se faisait celle de l'eau du ballon, dont les parois de verre séparaient l'eau de la glace. Le poids du morceau de glace peut même être beaucoup plus petit sans que la congélation cesse de se produire. A mesure qu'il se forme de la glace nouvelle, les surfaces en contact deviennent plus larges, la pression exercée par le morceau de glace supérieur porte sur des surfaces plus grandes et devient plus petite, de sorte que les petits ponts de glace augmentent très-peu et très-lentement; c'est pour cela qu'ils se brisent si facilement lorsqu'on cherche à séparer les morceaux de glace.

Dans les expériences de M. Faraday, deux plaques de glace, percées d'un trou, étaient supportées par un tube de verre, de sorte que la pesanteur ne pouvait les presser l'une contre l'autre. Mais l'attraction capillaire qui se développe dans ce cas est suffisante pour produire une pression de quelques grammes entre les deux plaques. Les explications que je viens de donner prouvent d'ailleurs qu'une telle pression suffit pour produire des ponts de glace entre les deux plaques, si on les laisse assez longtemps en contact.

Si, à l'aide des mains, on presse l'un contre l'autre les

cylindres de glace dont j'ai parlé dans ma leçon, ils se soudent si fortement, après quelques instants de contact, qu'il faut exercer un effort considérable pour les séparer, et que souvent la force du bras ne suffit pas.

En général, j'ai constaté, dans mes expériences, que la force d'adhésion des deux morceaux de glace, et la rapidité avec laquelle elle se produit, correspondent si bien à la pression employée, qu'il n'est pas possible de douter que la pression ne soit la cause réelle de cette union.

L'explication proposée par M. Faraday, d'après laquelle la régélation serait la suite d'une action de contact entre l'eau et la glace, présente, à mon avis, une difficulté théorique. Par la congélation de l'eau, une quantité de chaleur latente assez considérable doit être mise en liberté, et, dans cette théorie, il est impossible d'indiquer ce qu'elle peut devenir.

Enfin, si la glace, pour se changer en eau, passait par un état intermédiaire de fluidité visqueuse, un mélange d'eau et de glace, maintenu, pendant des jours entiers, à une température de 0 degré, devrait finir par passer tout entier à cet état intermédiaire dès que toute sa masse aurait pris cette température d'une manière bien uniforme : or, c'est ce qui n'arrive jamais.

Quant à ce qu'on appelle la plasticité de la glace, M. James Thomson en a donné une explication qui ne repose pas sur la formation de fissures dans l'intérieur de la masse. Il est, en effet, évident que si un morceau de glace supporte des pressions inégales sur différents points de sa masse intérieure, une partie de la portion la plus fortement comprimée est obligée de fondre ; la glace moins comprimée et l'eau environnante fournissent la chaleur latente nécessaire. Ainsi, aux endroits comprimés, une

partie de la glace disparaîtrait, tandis que l'eau se transformerait en glace aux endroits où la pression est moindre : de cette manière la glace pourrait réellement se transformer et céder à la pression. Mais il est clair que, par suite de la mauvaise conductibilité de la glace, cette transformation serait excessivement lente, si les couches de glace les plus comprimées et les plus froides se trouvaient à une grande distance de l'eau et des couches moins comprimées qui doivent leur fournir la chaleur nécessaire à la fusion. C'est précisément ce qui arrive dans les glaciers.

Pour vérifier l'exactitude de cette théorie, j'ai placé dans un vase cylindrique de verre un petit cylindre de glace, d'environ 1 pouce de diamètre, entre deux plaques de glace plus grandes, de 3 pouces de diamètre. Sur la plaque supérieure, j'ai placé une plaque de bois chargée d'un poids de 20 livres. De cette manière, la section du petit cylindre supportait une pression de plus d'une atmosphère. Tout le vase fut entouré de morceaux de glace et maintenu pendant cinq jours dans une chambre dont la température était seulement de quelques degrés au-dessus de zéro. Dans ces conditions, la glace soumise à la pression du poids devait fondre, et l'on pouvait s'attendre à ce que le cylindre le moins gros, sur lequel la pression s'exerçait le plus, fondrait le plus vite. Il se forma bien un peu d'eau dans le vase; mais ce fut presque entièrement aux dépens de grosses plaques de glace qui se trouvaient à la partie inférieure et à la partie supérieure, et qui pouvaient le mieux recevoir de la chaleur du mélange d'eau et de glace extérieur, à travers les parois du vase de verre. Il se forma aussi un petit bourrelet de glace nouvelle, autour des points de contact du petit cylindre avec la plaque inférieure : ce qui prouve que l'eau qui

s'était fondue sous l'action de la pression s'était regelée à l'endroit où la pression cessait d'agir. Dans ces conditions, le morceau de glace intermédiaire, qui avait supporté la plus grande pression, n'avait pas encore subi un changement de forme appréciable.

Cette expérience montre que si, au bout d'un temps suffisamment long, il doit se produire un changement de forme de la manière indiquée par M. J. Thomson, la glace continuant à fondre aux points les plus comprimés et de la glace nouvelle se reformant aux endroits non soumis à la pression, ces changements ne peuvent se produire qu'avec une lenteur extrême, dès que l'épaisseur de la glace qui doit laisser passer la chaleur est appréciable. Un changement de forme considérable, par la fusion, dans un milieu dont la température est partout égale à 0 degré, ne pourrait avoir lieu sans qu'il n'arrive de la chaleur soit du dehors, soit de la glace non comprimée et de l'eau : mais les différences de température qui interviennent dans ces phénomènes, jointes à la mauvaise conductibilité de la glace, rendraient l'arrivée de la chaleur excessivement lente.

Au contraire, les expériences sur la compression de la glace, décrites plus haut, montrent que dans la glace grenue la production des fissures et le déplacement des parois de ces fissures rendent possible un changement de forme. Les bandes que présente la glace glacière, son aggrégation granuleuse qui apparaît pendant la fusion, la manière dont ses couches changent de position pendant le mouvement, et d'autres faits de ce genre, prouvent clairement qu'il se produit de pareils changements de forme dans les glaciers. Je crois donc que M. Tyndall ne s'est pas trompé, en cherchant dans la formation des fissures et

dans la régélation la cause réelle et principale du mouvement des glaciers.

Je rappellerai aussi qu'il doit se produire dans les grands glaciers une quantité considérable de chaleur de frottement. En effet, le calcul indique que, lorsqu'une masse de glace descend du col du Géant jusqu'à la source de l'Arveyron, la quatorzième partie de sa masse peut se fondre sous l'action de la chaleur développée par le travail mécanique. Puisque le frottement est maximum aux points qui supportent la plus forte pression, il tend à enlever de préférence les parties de la glace qui ralentissent le mouvement du glacier.

Je dirai, en terminant, que la structure grenue de la glace, dont j'ai parlé plus haut, s'observe très-facilement dans la lumière polarisée. Si, dans la forme de fer, on comprime un petit morceau de glace transparente, on obtient, en le réduisant à une épaisseur de 5 millimètres, une plaque suffisamment transparente pour être examinée à la lumière polarisée. En plaçant cette lame dans l'appareil de polarisation, on aperçoit dans son intérieur une grande quantité de petits champs et de petits anneaux. La disposition des couleurs permet de voir facilement les limites des grains de glace qui composent la plaque, et qui sont couchés pêle-mêle, les uns à côté des autres, sans la moindre orientation dans leurs axes optiques.

L'aspect est à peu près le même au commencement de l'expérience, lorsque la glace vient de sortir de la presse, quand les fissures qui s'y trouvent apparaissent encore sous formes de lignes blanchâtres, et plus tard lorsque la fusion a rempli d'eau ces fissures.

Pour expliquer comment les différentes parties du morceau de glace restent adhérentes pendant que le mor-

ceau change de forme, il faut remarquer que, dans la glace granuleuse, les fentes ne produisent que des déchirures ne traversant pas la masse; c'est ce qu'on voit directement en comprimant la glace. Les fentes se forment et courent dans tous les sens, comme celles que l'on produit en touchant un tube de verre avec un fil métallique chaud. La glace possède une certaine élasticité, ainsi qu'on peut s'en assurer en courbant une lame de glace très-mince. Dans un bloc de glace ainsi fendillé, les parois des fentes peuvent donc se déplacer, même quand elles sont encore réunies par la partie du bloc qui n'est pas fendue. Lorsque la partie de la fente qui s'est produite en premier lieu s'est fermée par régélation, la fente peut achever de s'ouvrir plus loin, sans que pour cela le bloc ait cessé un seul instant de former une masse unique. Il me semble aussi qu'il y a lieu de se demander si, dans un morceau de glace comprimée ou de glace glacière, — qui nous apparaît comme formée par une foule de grains de glace polyédriques enchevêtrés, — les grains sont complètement séparés les uns des autres, même avant qu'on ait cherché à les séparer, ou s'ils ne sont pas plutôt réunis par des ponts de glace qui se rompent facilement, et si ce ne sont pas ces ponts qui produisent la cohésion, comparativement assez grande, de cette masse qui nous apparaît comme un agrégat de grains.

Les propriétés de la glace, que je viens de décrire, ont aussi un certain intérêt au point de vue de la physique, parce que la glace nous permet, mieux que tout autre corps, de suivre pas à pas la transformation d'une substance cristallisée en corps grenu et d'étudier les causes dont dépend le changement de propriété qui résulte de cette transformation. La plupart des corps ne présentent pas

d'arrangement cristallin régulier, et cependant nos considérations théoriques ne se rapportent qu'à des corps cristallisés et parfaitement élastiques. C'est sous ce rapport que le passage de la glace cristallisée, cassante et élastique à l'état de glace grenue et élastique, me paraît un exemple très-instructif. H. HELMHOLTZ.

---

## LETTRE DE M. TYNDALL

### AU SUJET DE LA CONFÉRENCE DE M. HELMHOLTZ SUR LA GLACE ET LES GLACIERS[1].

M. Helmholtz a eu l'obligeance de m'envoyer une brochure intitulée : *Lectures scientifiques populaires ;* j'ai lu avec un grand plaisir dans la préface de cette brochure, que d'autres discours, du même genre que ceux qui sont livrés aujourd'hui au public, seraient publiés plus tard. La brochure actuelle renferme quatre conférences, une première : *De la relation des sciences naturelles avec la science en général*, une seconde *Sur les travaux scientifiques de Gœthe*, une troisième *Sur l'origine physiologique de l'harmonie musicale* [2], enfin une quatrième *Sur la glace et les glaciers*. La brochure est écrite en allemand, et il est à désirer que quelque personne

1. Cette lettre était adressée au directeur du *Philosophical Magazine* de Londres.
2. Ces trois conférences ont été traduites dans la *Revue des cours scientifiques,* la première et la troisième dans le tome IV (1867), la deuxième dans le tome VII (1870).

compétente en entreprenne la traduction en anglais.

Avec un empressement facile à comprendre, j'ai porté mon attention sur le dernier discours pour voir comment mes idées et mes expériences sur la formation et sur le mouvement des glaciers ont été envisagées par un savant aussi éminent.

M. Helmholtz attribue le froid qui règne dans les régions élevées de l'atmosphère aux causes généralement admises; mais il ajoute une remarque qui a une grande importance, en ce moment où l'on discute tant sur l'origine de ce vent chaud qui porte, en Suisse, le nom de *Foehn*. Ce vent, comme M. Helmholtz l'observe avec raison, n'est pas seulement un vent froid sur le haut des montagnes, il est aussi *humide*. Il perd son humidité sur les hauteurs, et il s'échauffe ensuite en tombant dans les vallées. La chaleur et la sécheresse du Foehn ne prouvent donc pas du tout que son origine soit dans le Sahara et non dans l'océan Atlantique.

On se rappelle probablement que j'ai déduit l'explication de la formation des glaciers, et de leur mouvement à travers les vallées de largeur et d'inclinaison variables, de ce fait que, si l'on presse l'un contre l'autre deux morceaux de glace, ils se soudent par leurs points de contact. Ce fait m'a été communiqué verbalement par M. Faraday qui l'a découvert. Bientôt après, et longtemps avant d'avoir eu occasion de réfléchir aux causes de ce fait, l'application qu'on peut en faire à l'explication de la formation et du mouvement des glaciers se présenta à mon esprit. Il y avait en ce moment-là de la neige dans la cour de *Royal Institution;* j'en mis une certaine quantité dans un des moules d'acier qui m'avaient servi à démontrer l'influence de la pression sur les phénomènes magnéti-

ques, je comprimai la neige et j'eus le plaisir de retirer du moule un cylindre de glace transparente. Je courus immédiatement rejoindre M. Faraday pour lui dire que j'étais convaincu que sa petite expérience allait servir de base à la véritable théorie des glaciers. J'appris plus tard que MM. Schlagentweit avaient fait une expérience analogue avec de la neige; mais ils n'en avaient pas tiré les conclusions qui sautèrent à mes yeux, et qui depuis ont été développées et forment une théorie du mouvement des glaciers.

On a vu plus haut (p. 222) le moule employé dans l'expérience dont je viens de parler. BB est la base du moule; AA un cylindre creux qui peut entrer dans la base; CC est le piston solide qui sert à comprimer la neige. Lorsque la neige est suffisamment comprimée on enlève le fond BB, et à l'aide du piston, on pousse au dehors le cylindre de glace. Ce moule ressemble complètement à celui qui a été employé par M. Helmholtz.

On connaît trop bien, pour qu'il soit nécessaire de les rappeler, les expériences qui suivirent celle-ci, et qui consistaient à mouler la glace dans des formes variables sous l'influence de la pression. En appliquant ces résultats à la théorie des glaciers, j'ai eu soin d'insister d'une manière toute spéciale sur ce fait que, si la glace possède à un haut degré le pouvoir de se mouler sous l'action de la *pression*, elle est complètement privée du pouvoir de céder en s'allongeant sous l'action d'une force de *tension*. Voici comment M. Helmholtz s'exprime sur ce point : « M. Tyndall a affirmé, et a prouvé par le calcul et l'observation, que la glace glacière ne s'allonge pas du tout lorsqu'elle est soumise à une tension, que sous l'action d'une tension suffisante elle casse toujours; » il ajoute plus loin que la propriété ainsi constatée établit une diffé-

rence essentielle entre un fleuve de glace et un fleuve de lave, de goudron, de miel ou de boue.

Les splendides expériences que M. Tresca a faites tout récemment prouvent de la manière la plus frappante la propriété que possède la glace de se mouler sous l'action de la pression. M. Helmholtz a montré, par des expériences variées, cette propriété de la glace à ses auditoires de Heidelberg et de Francfort. Il a transformé de la neige et des morceaux de glace en gâteaux et en cylindres; unissant bout à bout un certain nombre de ces cylindres, il les a laissés se souder et en a formé un bâton de glace. Plaçant ensuite un cylindre de glace de la forme indiquée page 226 (fig. *a*) dans un moule convenable, il le comprima et en fit un gâteau représenté par la figure *b*. En réalité, il a corroboré par une série d'expériences brillantes, imaginées par lui, les résultats que j'avais primitivement obtenus.

Quant à l'application de ces résultats au phénomène des glaciers, M. Helmholtz, après s'être assuré par lui-même de l'insuffisance des autres hypothèses, exprime ainsi sa conviction : « Je ne doute pas que M. Tyndall n'ait indiqué la cause essentielle et principale du mouvement des glaciers, en l'attribuant à la rupture et à la régélation de la glace. »

Il sera peut-être utile de remarquer que le mot regélation fut introduit pour la première fois dans un mémoire publié par M. Huxley et moi, plus de sept ans après la découverte du fait même par M. Faraday, et qu'il nous fut indiqué par le docteur Hooker, actuellement directeur des Royal Gardens à Kew. Comme je l'ai déjà fait remarquer, la formation et le mouvement des glaciers et d'autres phénomènes de même nature, avaient été rapportés à la regé-

lation longtemps avant que je me sois occupé de la cause même de la regélation. Cette question n'est pas même indiquée dans le mémoire où la théorie de la regélation a été développée pour la première fois. C'est une question de même nature, mais toute différente. En rapportant le mouvement des glaciers à un fait démontré expérimentalement, je n'ai fait que le rapporter à sa cause *voisine*. Chercher à rapporter cette cause à *ses* antécédents physiques forme l'objet d'une investigation distincte, dans laquelle je n'ai pris qu'une part comparativement très-petite, par suite de ma foi dans l'exactitude substantielle de l'explication de M. Faraday.

Cinq personnes se sont plus ou moins occupées de cette question. M. Faraday, M. Forbes, M. J. Thomson, M. W. Thomson et moi. M. James Thomson explique la regélation en se fondant sur une conséquence importante déduite de la théorie mécanique de la chaleur, en premier lieu par lui, et presque simultanément par M. Clausius. S'il résulte de cette théorie que la température de congélation de l'eau doit s'abaisser sous l'action de la pression; cela veut dire que de l'eau soumise à une certaine pression restera liquide à une température à laquelle elle se solidifierait si cette pression était supprimée. Cette déduction théorique a été confirmée d'une manière remarquable par les expériences de son frère, le professeur William Thomson. Voici comment la théorie de M. Thomson rend compte de la regélation : « Lorsque deux morceaux de glace sont pressés l'un contre l'autre ou placés l'un sur l'autre, leurs parties comprimées se liquéfient. L'eau ainsi produite a rendu latente une portion de la chaleur de la glace environnante, et par conséquent sa température se sera abaissée au-dessous de 0°. En cessant d'être comprimée,

cette eau se regèle et soude les deux morceaux de glace. » J'ai toujours admis que cette explication se fonde sur une « cause vraie. » Mais, en considérant la grandeur infinitésimale de la pression suffisante pour produire la regélation, j'ai pensé avec M. Faraday et M. Forbes, que cette cause était insuffisante. M. James Thomson fonda sur sa théorie de la regélation une théorie du mouvement des glaciers, dans laquelle il attribue les changements de forme que subit le glacier à la liquéfaction incessante de la glace aux points où la pression est exercée, et à la congélation de l'eau ainsi produite sur les autres points. J'ai essayé autrefois de montrer que cette théorie était incapable d'expliquer les faits observés. M. Helmholtz l'a récemment soumise au contrôle de l'expérience, et les conclusions qu'il a tirées de ses recherches sont identiquement les miennes.

Ainsi, les vues de M. Helmholtz sont d'accord avec les miennes : sur l'impossibilité pour la glace de s'étendre sous l'influence de la tension, et la propriété qu'elle a de prendre toutes les formes sous l'action de la pression, — sur la différence essentielle qui existe entre un glacier et un fleuve de lave, de miel ou de goudron, — sur la suffisance de la pression et de la regélation pour rendre compte de la formation des glaciers, — sur la suffisance de la cassure et de la regélation pour rendre compte de leur mouvement, — enfin sur l'insuffisance de la théorie qui attribue ce mouvement à la liquéfaction par pression et à la récongélation.

Mais il en est tout autrement lorsqu'il s'agit de la cause même de la regélation. M. Helmholtz, comme M. Jamin[1],

1. *Traité de physique*, vol. II, p 105.

accepte l'explication claire et définie de M. James Thomson comme la plus satisfaisante de toutes celles qui ont été avancées. Il fonde son choix sur une expérience tellement belle qu'elle ne peut manquer de faire plaisir, même à ceux contre l'opinion desquels elle est dirigée. Mais, avant de passer à l'expérience décrite dans une note ajoutée à la leçon (ci-dessus, p. 238), il sera bon de citer les paroles mêmes par lesquelles M. Helmholtz exprime son opinion dans le cours de la leçon.

« Vous me demanderez sans doute avec surprise, dit-il, comment il se peut que la glace, de toutes les substances connues la moins flexible et la plus cassante, puisse couler dans un glacier comme une substance visqueuse?.... » (Voyez, ci-dessus, *Conférence de M. Helmholtz*, p. 216.)

Dans la note (p. 233), M. Helmholtz revient à la question ainsi traitée dans le discours. « La théorie de la regélation de la glace, dit-il, a donné naissance à une discussion scientifique entre M. Faraday et M. Tyndall d'un côté, et MM. James et William Thomson de l'autre. Dans le texte de ce discours, j'ai adopté la théorie de ces derniers, et je vais donner les raisons qui m'y ont porté. » Il analyse ensuite les raisons données de part et d'autre, fait ressortir les difficultés théoriques qui résultent de l'explication de M. Faraday, montre l'effet que peut produire une faible pression si on la laisse agir pendant longtemps, et appelle l'attention sur ce fait que, lorsqu'un morceau de glace est placé sur un autre, la pression n'est pas distribuée sur la totalité des surfaces superposées, mais qu'elle est concentrée sur quelques points de contact. Il pense aussi, avec M. James Thomson, que, dans l'expérience faite par M. Forbes, l'attraction capillaire exercée entre les deux plaques est suffisante pour produire la regélation.

Pour montrer l'action lente des petites différences de température qui entrent en jeu dans ce cas, M. Helmholtz fait l'expérience suivante à laquelle j'ai déjà fait allusion.

« Pour faire ressortir cette action lente, dit-il, produite par de faibles différences de température, j'ai fait l'expérience suivante : J'ai rempli, etc... » (Voyez, ci-dessus, *Étude de M. Helmholtz*, *Sur la regélation*, p. 234).

J'aurais aimé voir la belle expérience de M. Helmholtz, remplir une simple condition de plus, — j'aurais voulu que l'eau dans laquelle le ballon était plongé fût purgée d'air par l'ébullition, absolument comme l'eau qui se trouve dans le ballon. Il se peut justement que le point de congélation ne soit pas complètement indépendant de la présence de l'air dans l'eau.

Comme la question de la regélation a été remise sur le tapis par M. Helmholtz, j'ai fait quelques nouvelles expériences sur le moulage et la regélation de la glace. L'expérience suivante fait ressortir ces deux propriétés de la glace : une certaine quantité de poudre de glace fut raclée de la surface d'un morceau de glace tranparente, et placée dans un moule de buis, d'une forme semblable à celle du pied d'un verre à bordeaux. On comprima la poudre de glace à l'aide d'une presse hydraulique, et l'on obtint une masse de glace transparente reproduisant la forme du moule. Dans un autre moule, on fit, à l'aide de la même poudre, trois petits cylindres de glace transparente. Enfin, dans un troisième moule, on fit une coupe de glace transparente. Plaçant ensuite ces morceaux l'un au-dessus de l'autre, on les souda par regélation, et l'on obtint ainsi un véritable verre à bordeaux, en glace, avec lequel on pou-

vait boire quelques gorgées si l'on avait soin de refroidir suffisamment le liquide avant de l'y verser.

On trouve des moules de cuivre servant à la fabrication des fleurs, et qui se prêtent admirablement bien à la regélation de la glace. M. Becker m'en a procuré un. En y comprimant de la poudre de glace, j'ai obtenu par la regélation une masse solide possédant exactement la forme du moule.

J'ai placé un petit morceau de glace dans de l'eau chaude, en le forçant à plonger sous le poids d'un deuxième morceau de glace. La portion submergée était si petite que la pression verticale était à peu près infinitésimale. Il se souda néanmoins à la surface inférieure du morceau de glace supérieur. Deux morceaux de glace furent placés dans un vase d'eau chaude, de manière à pouvoir se toucher. Ils se soudèrent dès qu'ils se touchèrent. Les parties qui entouraient les points de contact fondaient rapidement, mais les deux morceaux continuèrent, pendant un certain temps, à rester unis par un étroit pont de glace. Le pont finit par fondre aussi, et les deux morceaux restèrent un moment séparés. Mais on sait que deux corps mouillés par l'eau, et contre la surface desquels l'eau s'élève sous l'action de la capillarité, se rapprochent lorsqu'on les fait nager ensemble à la surface de l'eau. Les morceaux de glace se rapprochèrent donc, et immédiatement la regélation eut lieu. Un nouveau pont se forma, il fondit à son tour, et les deux morceaux se séparèrent. Il se produisait ainsi une espèce de pulsation entre les deux morceaux de glace. Ils se touchaient, se soudaient; un pont se formait et fondait en laissant un intervalle entre les deux morceaux. L'intervalle diminuait de nouveau, ils se touchaient, se soudaient, la même série de phénomènes se succédant

et se succédant toujours. Nous trouvons ici l'explication de ce fait curieux que, lorsqu'on place quelques gros morceaux de glace dans l'eau chaude et qu'ils viennent à se toucher, la regélation les maintient réunis jusqu'à leur entière fusion. Les derniers morceaux peuvent à la fin ne plus être la centième partie de ce qu'ils étaient à l'origine; pendant l'accomplissement de la série de phénomènes que je viens de décrire, ils sont toujours réunis jusqu'à ce qu'ils finissent par disparaître. Ce qui est vrai pour des morceaux de glace nageant dans un bassin d'eau est aussi vrai pour les blocs de glace du lac Maerjelen. Si l'attention était portée sur ce sujet, le jeu de la regélation pourrait probablement être observé sur les montagnes de glace de l'Océan. Avec une certaine dose d'habileté, on pourrait faire de curieuses observations sur la regélation des glaces flottantes.

D'après la théorie de M. James Thomson, pour que la regélation ait lieu, les morceaux de glace doivent exercer une certaine pression l'un contre l'autre, et enlever à la glace voisine la chaleur nécessaire à la liquéfaction de la partie comprimée; ensuite l'eau s'échappe et se regèle. Tout cela demande du temps. Dans les expériences précédentes, l'eau liquéfiée par la pression se perd dans l'eau chaude environnante; malgré cela, les morceaux de glace flottants sont regelés en un instant. Il n'est pas nécessaire que les surfaces de contact soient planes; car dans ce cas une couche d'eau à 0° peut être supposée exister entre elles. Les surfaces de contact peuvent être convexes; les points qui se touchent peuvent être virtuels, recouverts complètement par le liquide chaud qui les dissout rapidement pendant qu'ils s'approchent. Cependant ils se soudent immédiatement lorsqu'ils se touchent.

M. Helmholtz insiste sur deux points : l'un est favorable à l'hypothèse qu'il a adoptée et l'autre montre une difficulté inhérente à l'explication de M. Faraday; je vais en dire quelques mots. « Je trouve, » dit M. Helmholtz, « que la rapidité et la force de l'union des morceaux de glace correspondent si complètement à la pression employée, que je ne puis douter que la pression ne soit réellement la cause suffisante de cette union. »

Mais conformément à l'explication de M. Faraday, la force et la rapidité de la regélation doivent aussi aller de pair avec la grandeur de la pression employée. M. Helmholtz insiste avec raison sur ce fait que les surfaces en contact ne sont pas parfaitement unies, mais qu'elles ne se touchent en réalité qu'en quelques points, ce qui concentre l'effet de la pression. La pression exercée sur deux morceaux de glace à la température de 0° n'a pas seulement pour effet de diminuer l'épaisseur de la pellicule liquide qui se trouve entre les deux morceaux, elle aplatit les points de contact et répand ainsi la pellicule d'eau sur une plus grande surface. Ainsi donc, dans les deux théories, la force et la rapidité de la regélation doivent correspondre à la grandeur de la pression.

La difficulté dont j'ai parlé plus haut est constatée en ces termes par M. Helmholtz : « Dans l'explication donnée par M. Faraday, et d'après laquelle la regélation serait produite par une action de contact entre l'eau et la glace, il se manifeste une difficulté théorique. Par la congélation de l'eau une quantité de chaleur très-sensible est mise en liberté; et l'on ne sait point ce qu'elle devient. »

Les partisans de l'explication donnée par M. Faraday doivent répondre que la chaleur rendue libre se diffuse à travers la glace voisine. Mais à cela on peut sans doute

objecter que la glace se trouvant déjà à la température de 0 degré ne peut absorber une nouvelle quantité de chaleur sans se liquéfier. Si cela est vrai dans toutes les circonstances, l'explication de M. Faraday doit évidemment être rejetée. Mais l'essence même de cette explication semble être que les portions intérieures de la masse de glace ont besoin pour fondre d'une température plus élevée que les couches de la surface. Pour me faire bien comprendre, je suppose un faisceau de chaleur solaire ou un faisceau de lumière électrique passant à travers un morceau de glace. La glace se résout en fleurs liquides à six pétales qui ont été décrites ailleurs. Les fleurs s'étendent lorsque le faisceau continue à agir, l'énergie de la portion du faisceau absorbée est tout entière employée à élargir les fleurs formées pendant les premières secondes, et non à en former de nouvelles. La théorie de M. Faraday implique l'idée que les fleurs ne peuvent apparaître dans la masse sans que la température des parties intérieures ait été élevée au-dessus de 0°, tandis qu'à la surface la glace fond à cette température. Si donc deux surfaces de glace humides à la température de 0° sont pressées l'une contre l'autre, et si, en vertu de l'action de contact supposée par M. Faraday, la couche d'eau qui les sépare se gèle, la glace adjacente (qui est maintenant à l'intérieur et non plus à la surface comme au commencement) est dans de bonnes conditions pour enlever par conductibilité et sans préjudice pour sa solidité la faible quantité de chaleur produite. Si l'on admet l'action de contact supposée par M. Faraday, il ne semble donc pas qu'il y ait de difficulté à rendre compte de la chaleur devenue libre par la congélation de la pellicule humide.

Lorsque l'année s'avance, et que la glace importée

à Londres est restée pendant longtemps dans les glacières, si on l'examine soigneusement, on trouve des parcelles d'eau liquide dans l'intérieur de sa masse. J'ai enveloppé, dans une feuille d'étain, de la glace contenant de ces parcelles d'eau, et je l'ai placée dans un mélange réfrigérant jusqu'à ce que les parcelles liquides aient été parfaitement congelées. Enlevant alors la glace du mélange réfrigérant, je la plaçais dans une chambre noire, en la laissant recouverte de son enveloppe; après l'avoir exposée pendant quelques heures à une température un peu supérieure à 0°, je trouvais de nouveau les parcelles liquides. La chaleur qui était suffisante pour fondre cette glace intérieure passait à travers les couches extérieures sans le moindre préjudice pour leur solidité. Mais si la température de congélation des particules de glace était de 0° centigrade, la température de congélation de la masse environnante devait être au-dessus de 0°, ce qui est conforme à l'explication de M. Faraday.

En décrivant la belle expérience que j'ai rappelée, M. Helmholtz constate que l'eau privée d'air peut descendre, sans geler, à une température beaucoup plus basse que 0°; si, au contraire, un morceau de glace se trouve dans la même eau la température ne peut baisser, elle reste toujours à 0°. Ceci prouve certainement que la glace possède un pouvoir spécial de solidification sur l'eau. Il est nécessaire de dire que le fait est général, qu'un cristal d'un sel quelconque, placé dans une solution saturée de ce sel, provoque toujours la cristallisation. En appliquant ce fait à la pellicule d'eau très mince maintenue entre ces deux surfaces comprimées, il me semble excessivement probable que l'action de contact de M. Faraday consiste en ce que la pellicule gêlera et soudera les morceaux de glace.

Je crois que l'observation suivante mérite d'être rappelée, même en dehors de la présente discussion. On sait qu'en fondant, la glace se désagrége de manière à former des prismes grossiers dont les axes sont perpendiculaires au plan de la surface de congélation. J'ai souvent observé ce fait sur une large échelle pendant les hivers que j'ai passés comme étudiant sur les bords de la Lahn. La manière dont ces prismes sont formés dans quelques cas est extrêmement intéressante. En les examinant de près, on observe une espèce de trouble à l'intérieur d'une masse qui paraît être de la glace parfaitement transparente, ce trouble paraît dû à des stries perpendiculaires à la surface de congélation, et si l'on dirige la vue perpendiculairement à cette surface, les extrémités des stries deviennent apparentes; les espaces libres entre les stries sont formés de glace transparente qui ne présente aucun trouble. Les objets qui produisent ce trouble sont excessivement fins, mais lorsqu'on les examine soigneusement, on reconnaît que ce sont des piles de fleurs liquides très-petites, dont les plans sont à angle droit avec la direction des stries.

Depuis que j'ai écrit ce qui précède, j'ai reçu une copie d'un discours prononcé par M. de la Rive à l'ouverture de la quarante-neuvième réunion de la Société helvétique, qui a eu lieu cette année à Genève. De ce remarquable résumé de nos connaissances actuelles sur les glaciers, je fais les extraits suivants qui, joints à ce que je vous ai dit de la leçon de M. Helmholtz, montreront suffisamment comment le sujet est envisagé aujourd'hui par les hommes compétents.

« Telle est, dit M. de la Rive, la description des phénomènes des glaciers; il me reste maintenant à les expliquer, à interroger l'observation et à en déduire le carac-

tère fondamental du phénomène. L'observation nous apprend que la pesanteur est la force motrice, et que cette force agit sur un corps solide — la glace — en lui communiquant un mouvement lent et continu. Qu'en conclurons-nous? que la glace est un corps solide qui possède la propriété de couler comme une substance visqueuse; — conclusion qui paraît très-simple, mais qui n'en a pas moins été exprimée pour la première fois, il y a vingt-cinq ans, par un des physiciens les plus distingués, par M. James Forbes. Cette théorie, car c'est bien une théorie, se fondant sur des faits aussi nombreux que bien observés, énonce ce principe : que la glace possède les propriétés caractéristiques appartenant aux corps plastiques. Quoique M. Forbes ne l'ait pas prouvé directement, il lui revient toujours le grand mérite d'avoir insisté sur la plasticité de la glace avant que M. Faraday, en découvrant le phénomène de la congélation, eût permis à M. Tyndall de prouver que cette plasticité est réelle, au moins en partie.

« L'expérience de M. Faraday est devenue classique et n'est pas étrangère à notre sujet. Elle consiste, comme vous le savez, en ce que deux morceaux de glace mis en contact dans de l'eau, même dans de l'eau chaude, se soudent ensemble. M. Tyndall vit très-vite l'application de l'expérience de M. Faraday à la théorie des glaciers; il comprit que, si des morceaux de glace peuvent ainsi se souder ensemble, cette substance peut être cassée, placée dans un moule, comprimée et forcée ainsi à prendre la forme de la cavité qui la contient. Un moule de bois, par exemple, embrasse une cavité sphérique; en y plaçant des fragments de glace, et en les comprimant, nous obtenons une sphère de glace; en plaçant cette sphère dans un second

moule à cavité lenticulaire et en la comprimant, nous transformons la sphère en lentille. De cette manière, nous pouvons faire prendre à la glace une forme quelconque.

« Telle est la découverte de M. Tyndall ; elle peut bien être appelée ainsi, surtout si l'on en considère ses conséquences. Car tous ces moules agrandis deviennent les bords des vallées dans lesquels coule le glacier. Ici, l'action de la presse hydraulique qui a servi aux expériences du laboratoire, est remplacée par le poids des masses de neige et de glace accumulées sur les sommets et exerçant leur pression sur la glace qui descend dans la vallée. Supposons, par exemple, qu'il existe, entre le moule sphérique et le moule lenticulaire, une série graduée d'autres moules, dont chacun diffère un peu de celui qui le précède et de celui qui le suit, et qu'on puisse forcer la masse de glace à passer successivement à travers tous ces moules, le phénomène deviendra continu. Au lieu de casser brusquement, la glace serait amenée à passer par degrés insensibles de la forme sphérique à la forme lenticulaire. Elle montrerait ainsi une plasticité comparable à celle de la cire molle. Mais la glace est seulement plastique sous la *pression ;* elle n'est pas plastique sous la *tension ;* c'est là le point important que la vague théorie de la plasticité était incapable d'expliquer. Un corps visqueux, comme du bitume ou du miel, peut être tiré en filaments sous l'action de la tension ; la glace, au contraire, loin de s'étirer ainsi, se casse comme du verre. Ces points une fois bien établis par M. Tyndall, il lui devint facile d'expliquer le mécanisme des glaciers et de démontrer, avec le secours d'un géomètre anglais, M. William Hopkins, que la direction des crevasses des glaciers

est une conséquence nécessaire de leur mouvement [1]. »

Je viens de recevoir un moule construit par l'habile et intelligent mécanicien, M. Becker, et hier (16 novembre), j'ai fait avec ce moule une expérience qui, par la facilité avec laquelle elle peut être répétée, intéressera tous ceux qui cherchent à montrer d'une manière frappante et instructive les effets de la regélation. Le moule consiste en deux pièces de fer fondu qui peuvent se superposer et sont maintenues par un rectangle d'acier glissant sur elles. La face intérieure de chacune de ces plaques porte en creux un demi anneau communiquant avec un tuyau demi-cylindrique. Lorsqu'on superpose ces deux plaques, elles forment donc à l'intérieur du moule un anneau complet de quatre pouces de diamètre extérieur et de trois quarts de pouce d'épaisseur, communiquant avec un conduit cylindrique d'un pouce de diamètre dans lequel peut entrer un piston d'acier poli. Deux petites chevilles, placées sur la surface intérieure d'une des deux plaques et entrant dans des trous correspondants, empêchent les deux plaques de glisser l'une sur l'autre.

Après avoir refroidi le moule en le plaçant pendant quelques instants dans un mélange d'eau et de glace, on fait entrer des fragments de glace dans le conduit cylindrique, et on les pousse dans l'anneau en enfonçant à coups de marteau le piston d'acier. En entrant dans l'anneau, les morceaux de glace ainsi brisés et écrasés se séparent en deux parties, l'une allant à droite, l'autre à gauche. Si l'on continue à enfoncer ainsi la glace dans le moule, celui-ci finit par se remplir. Enlevant alors le rectangle qui maintient les deux plaques, on ouvre le moule

1. On trouvera ce discours de M. de la Rive dans la *Revue scientifique*, 2e série, tome III, page 566, 14 décembre 1872.

et l'on y trouve un anneau de glace parfait avec un appendice cylindrique. On peut souder par regélation les appendices de deux de ces anneaux. Il serait facile de construire ainsi une chaîne de glace. On peut employer la presse hydraulique pour faire cette expérience, mais elle n'est pas nécessaire ; en frappant à coups de marteau sur le piston, on obtient facilement de magnifiques anneaux de glace par la regélation des fragments brisés.

Je terminerai par la description d'une expérience qui a été suggérée, à mon ingénieux ami M. Duppa, par la vue des anneaux de glace dont je viens de parler ; elle a été faite par lui dans le laboratoire de l'Institution royale. On verse une certaine quantité de plâtre de Paris dans un vase convenable ; on pose l'anneau de glace sur cette substance, et l'on place au-dessus de l'anneau une nouvelle quantité de plâtre. Celui-ci se prend en enfermant l'anneau dans son intérieur ; l'anneau en fondant ensuite laisse un moule parfait. Quand ce moule est sec, on coule du plomb fondu dans le creux primitivement occupé par la glace, et l'on produit ainsi un anneau de plomb. Mais la glace s'adapte à toutes les formes par le moulage : on peut former avec elle des statuettes, des vases, des fleurs et une quantité innombrable d'ornements. Ces objets de glace, entourés de ciment par le procédé indiqué par M. Duppa, restent assez longtemps intacts pour permettre au ciment de se fixer sur eux. En fondant ils disparaissent en laissant derrière eux un moule parfait de plâtre, à l'aide duquel on peut reproduire des reliefs.

J. TYNDALL.

---

# LETTRE DE M. HELMHOLTZ

## A M. EM. ALGLAVE

RÉDACTEUR EN CHEF DE LA REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES

Monsieur,

Vous me demandez si j'ai quelques observations à faire sur les expériences ingénieuses de M. Tyndall. Je vous ferai remarquer que les expériences faites avec les morceaux de glace flottant sur l'eau prouvent que des pressions excessivement petites suffisent pour souder deux morceaux de glace. Les forces qui, dans ce cas, exercent une pression entre les deux morceaux de glace sont, en partie la différence des poids spécifiques de la glace et de l'eau, en partie les attractions capillaires qui se produisent entre les deux morceaux flottant à la surface de l'eau. Il faut de plus remarquer qu'il suffira de ponts de glace beaucoup plus étroits pour retenir ensemble deux morceaux de glace nageant sur l'eau que deux morceaux de glace maintenus dans l'air ; dans ce dernier cas, il est, en effet, très-difficile de les équilibrer aussi bien que dans l'eau.

La chaleur rayonnante qui traverse une masse de glace fait fondre de préférence certaines portions déterminées, situées dans l'intérieur de la masse. On pourrait peut-être expliquer ce phénomène en admettant que, dans ces positions, plusieurs cristaux de glace se sont soudés en produisant ainsi une certaine pression. Si l'on fait regeler l'eau provenant de cette fusion, la pression locale se re-

produit dans l'intérieur de la masse et un nouveau faisceau calorifique fera fondre ces mêmes portions, sans qu'il soit nécessaire qu'elles se trouvent à la surface.

D'après la théorie de M. Tyndall, la chaleur latente devenue libre aux points où deux morceaux de glace se soudent, doit se distribuer sur la glace voisine, et comme, dans tous les cas, la différence qui existe entre les points de fusion de la glace intérieure et de la glace extérieure est très-petite, il faut que cette chaleur se répande sur une masse de glace relativement considérable, si aucune portion de glace ne doit se fondre. La mauvaise conductibilité de la glace et la différence excessivement petite des températures des points de fusion me forcent à croire que cette explication est invraisemblable, dans les cas où la glace se soude si rapidement sous l'influence d'une forte pression, voire même sous l'influence d'un coup de marteau. J'avoue que, jusqu'ici, il est impossible de déterminer par un calcul exact le temps nécessaire à la transmission de la chaleur dans cette expérience, et, que par suite la discussion ne peut pas encore être considérée comme terminée. Moi-même, je n'ai donné la préférence à la théorie de M. J. Thomson que parce qu'elle se fonde exclusivement sur des faits connus.

Agréez, etc. H. HELMHOLTZ.

FIN.

# TABLE DES MATIÈRES

## LIVRE III.

### LES CURIOSITÉS DES GLACIERS.



## LIVRE IV.

### L'ÉPOQUE GLACIAIRE ET LES THÉORIES GLACIAIRES.



## APPENDICE.



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

PUBLICATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

# REVUE SCIENTIFIQUE

## DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES (DEUXIÈME SÉRIE)

**PARAIT TOUS LES SAMEDIS**

Philosophie des sciences. — Histoire scientifique. — Physique. — Chimie. — Astronomie. — Géologie. — Botanique. — Zoologie. — Physiologie. — Médecine et hygiène. — Anthropologie. — Géographie et voyages. — Sciences industrielles. — Sciences militaires. — Sciences sociales et politiques. — Congrès scientifiques.

**Voici les noms des principaux Collaborateurs dans les divers pays.**

*France.* — MM. Claude Bernard. — H. Sainte-Claire-Deville. — De Quatrefages. — Dumas. — Wurtz. — Berthelot. — Broca. — Brongniart. — Chauveau. — Colonel Laussedat. — Baillon. — Bouley. — Pasteur. — Lorain. — Le Fort. — G. Ville. — P. Bert. — L. Dumont. — Boussingault. — Em. Alglave. — Gavarret. — Bouchardat. — Marey. — Mascart. — Janssen. — Ed. Perrier. — Hébert. — E. Blanchard. —

A. Milne-Edwards. — Colonel Usquin. — E. Faivre. — Fouqué, etc., etc.

*Angleterre.* — MM. Huxley. — Tyndall. — Herbert Spencer. — Sir J. Lubbock. — Sir W. Thomson. — W. B. Carpenter. — Ch. Darwin. — Abel. — E. J. Reed. — Liebreich. — Capitaine Noble. — W. Odling. — Stanley Jevons. — Normann Lockyer, etc., etc.

*Allemagne et Autriche-Hongrie.* — MM. Virchow. — Helmholtz. — Hartmann. — Brücke. — Haeckel. — Littrow. — E. du Bois-Reymond. — Ludwig. — A. Ecker. — Rosenthal, etc., etc.

*Belgique. Hollande.* — MM. Quetelet. — Van Beneden. — Plateau, — Bellynck. — Harting. — Baumhauer. — Gunning. — Dewalque. — D'Omalius d'Halloy. — Ed. Morren, etc., etc.

*Scandinavie.* — MM. Nordenskiöld, Thomsen, etc., etc.

*Italie. Suisse.* — MM. Moleschott. — De Saussure. — Soret. — Le P. Secchi. — R. Wolf. — De Saint-Robert, etc., etc.

*Amérique.* — MM. Agassiz. — Sterry-Hunt. — Salisbury, etc.

---

PRIX DE L'ABONNEMENT :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Paris........... | Six mois. | 12 fr. | Un an. | 20 fr. |
| Départements... | — | 15 | — | 25 |
| Étranger........ | — | 18 | — | 30 |

**Un numéro : 50 centimes.**

BIBLIOTHÈQUE

# SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

---

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais et en allemand, à Paris, à Londres, à New-York et à Leipzig.

Elle réunit des ouvrages dus aux savants les plus distingués de tous les pays.

La valeur scientifique des livres qui la composent est assurée par la formation dans chaque pays d'un comité d'hommes de science qui en a la direction exclusive.

Enfin, malgré le caractère scientifique très-élevé de cette collection, elle sera toujours rédigée de manière à rester accessible aux gens du monde et à tous les esprits cultivés.

La *Bibliothèque scientifique internationale* est conçue dans le même esprit que la *Revue scientifique;* elle la complète en quelque sorte sous une nouvelle forme.

Voici la liste des principaux ouvrages qui sont en préparation :

## AUTEURS FRANÇAIS

Claude Bernard. Phénomènes physiques et phénomènes métaphysiques de la vie.

Henri Sainte-Claire Deville. Introduction à la chimie générale.

Émile Alglave. Physiologie générale des constitutions.

A. de Quatrefages. Les races nègres.

A. Wurtz. Atome et atomicité.

Berthelot. La synthèse chimique.

H. de Lacaze-Duthiers. La zoologie depuis Cuvier.

Friedel. Les fonctions en chimie organique.

Van Beneden. Les commensaux et les parasites dans le règne animal.

Marey. La machine animale.

Taine. Les Émotions et la Volonté.

Quetelet. La moyenne de l'humanité.

Alfred Grandidier. Madagascar.

Debray. Les métaux précieux.

## AUTEURS ANGLAIS

Huxley. Mouvement et conscience.

Herbert Spencer. Les sciences sociales.

J. Tyndall. Les glaciers et les Transformations de l'eau.

W. B. Carpenter. Physiologie de l'esprit.

W. Bagehot. Lois scientifiques du développement des nations.

RAMSAY. Sculpture de la terre.
SIR J. LUBBOCK. Premiers âges de l'humanité.
BAIN. L'esprit et le corps.
BALFOUR STEWART. La coosetvation de la force.
CHARLTON BASTIAN. Le cerveao comme organe de le peosee.
NORMANN LOCKYER. L'analyse spectrale.
W. ODLING. Le chimie nouvelle.
LAUDER LINDSAY. L'iotelligence chez les animaux inférieurs.
STANLEY JEVONS. Les lois de la statistique.
BERKELEY. Les chempignoos.
MICHAEL FOSTER. Proteplasma et physiologie cellulaire.
MAUDSLEY. La respoosebilité dans le maladies.
ED. SMITH. Aliments et alimentatioo.
PETTIGREW. Marche, natation et vel.
THISELTON DYER. Les inflorescences.
K. CLIFFORD. Les fondements des sciences exactes.

### AUTEURS ALLEMANDS

VIRCHOW. Physiologie des meledies.
BERNSTEIN. Physiologie des appareils des sens.
HERMANN. La respiratioo.
LEUCKART. L'organisation des animeux.
O. LIEBREICH. La toxicologie.
REES. Les plantes perasites.
ROSENTHAL. Physiologie générale des nerfs et des moscles.
OSCARD SHMIDT. La théorie de l'hérédité et le derwinisme.
LOMMEL. L'optique.
STEINTHAL. La science du langage.
WUNDT. L'ecoustique.
VOGEL. Les effets chimiques de la lumière.
F. COHN. Les Thallophytes.

### AUTEURS AMÉRICAINS

J. DANA. L'échelle et les progrès de la vie.
S. W. JOHNSON. La nutrition des plantes.
AUSTIN FLINT. Les fooctions du système nervenx.
W. D. WHITNEY. La linguistiqne moderne.

---

**Sous presse, pour paraître très-prochainement.**

MAREY. Machine animale.
W. B. CARPENTER. Physiologie de l'esprit.
BAGEHOT. Lois scientifiqnes du développment des nations.
ED. SMITH. Aliments et alimenlation.




COULOMMIERS. — Typ. A. MOUSSIN.

JANVIER 1873.

# LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE

17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

PARIS

EXTRAIT DU CATALOGUE.

## BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE



**Volumes in-18 à 2 fr. 50 c.**

Cartonnés 3 fr.

*Ouvrages publiés.*

**H. Taine.**

Le Positivisme anglais, étude sur Stuart Mill. 1 vol.

L'Idéalisme anglais, étude sur Carlyle. 1 vol.

Philosophie de l'art. 1 vol.

Philosophie de l'art en Italie. 1 vol.

De l'Idéal dans l'art. 1 vol.

Philosophie de l'art dans les Pays-Bas. 1 vol.

Philosophie de l'art en Grèce. 1 vol.

**Paul Janet.**

Le Matérialisme contemporain. Examen du système du docteur Büchner. 1 vol.

La Crise philosophique. MM. Taine, Renan, Vacherot, Littré. 1 vol.

Le Cerveau et la Pensée. 1 vol.

**Odysse-Barot.**

Philosophie de l'histoire. 1 vol.

**Alaux.**

Philosophie de M. Cousin. 1 vol.

**Ad. Franck.**

Philosophie du droit pénal. 1 vol.

Philosophie du droit ecclésiastique. 1 vol.

La Philosophie mystique en France au XVIII[e] siècle (St-Martin et don Pasqualis). 1 vol.

**Charles de Rémusat.**

Philosophie religieuse. 1 vol.

**Émile Saisset.**

L'Ame et la Vie, suivi d'une étude sur l'Esthétique franç. 1 vol.

Critique et histoire de la philosophie (frag. et disc.). 1 vol.

**Charles Lévêque.**

Le Spiritualisme dans l'art. 1 vol.

La Science de l'invisible. Étude de psychologie et de théodicée. 1 vol.

**Auguste Laugel.**

Les Problèmes de la nature. 1 vol.

Les Problèmes de la vie. 1 vol.

Les Problèmes de l'ame. 1 vol.

La Voix, l'Oreille et la Musique. 1 vol.

L'Optique et les Arts. 1 vol.

**Challemel-Lacour.**

La Philosophie individualiste, étude sur Guillaume de Humboldt. 1 vol.

**L. Buchner.**

Science et Nature, trad. de l'allem. par Aug. Delondre. 2 vol.

**Albert Lemoine.**

Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl. 1 vol.

De la Physionomie et de la Parole. 1 vol.

**Milsand.**

L'ESTHÉTIQUE ANGLAISE, étude sur John Ruskin. 1 vol.

**A. Véra.**

ESSAIS DE PHILOSOPHIE HÉGÉLIENNE. 1 vol.

**Beaussire.**

ANTÉCÉDENTS DE L'HÉGÉLIANISME DANS LA PHILOS. FRANÇ. 1 vol.

**Bost.**

LE PROTESTANTISME LIBÉRAL. 1 vol.

**Francisque Bouillier.**

DU PLAISIR ET DE LA DOULEUR. 1 vol.

DE LA CONSCIENCE. 1 vol.

**Ed. Auber.**

PHILOSOPHIE DE LA MÉDECINE. 1 vol.

**Leblais.**

MATÉRIALISME ET SPIRITUALISME, précédé d'une Préface par M. E. Littré. 1 vol.

**Ad. Garnier.**

DE LA MORALE DANS L'ANTIQUITÉ, précédé d'une Introduction par M. Prévost-Paradol. 1 vol.

**Schœbel.**

PHILOSOPHIE DE LA RAISON PURE. 1 vol.

**Beauquier.**

PHILOSOPH. DE LA MUSIQUE. 1 vol.

**Tissandier.**

DES SCIENCES OCCULTES ET DU SPIRITISME. 1 vol.

**J. Moleschott.**

LA CIRCULATION DE LA VIE. Lettres sur la physiologie, en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, trad. de l'allem. 2 vol.

**Ath. Coquerel fils.**

ORIGINES ET TRANSFORMATIONS DU CHRISTIANISME. 1 vol.

LA CONSCIENCE ET LA FOI. 1 vol.

HISTOIRE DU CREDO. 1 vol.

**Jules Levallois.**

DÉISME ET CHRISTIANISME. 1 vol.

**Camille Selden.**

LA MUSIQUE EN ALLEMAGNE. Étude sur Mendelssohn. 1 vol.

**Fontanès.**

LE CHRISTIANISME MODERNE. Étude sur Lessing. 1 vol.

**Saigey.**

LA PHYSIQUE MODERNE. 1 vol.

**Mariano.**

LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE EN ITALIE. 1 vol.

**Faivre.**

DE LA VARIABILITÉ DES ESPÈCES. 1 vol.

**Letourneau.**

PHYSIOLOGIE DES PASSIONS. 1 vol.

**Stuart Mill.**

AUGUSTE COMTE ET LA PHILOSOPHIE POSITIVE, trad. de l'angl. 1 vol.

**Ernest Bersot.**

LIBRE PHILOSOPHIE. 1 vol.

**A. Réville.**

HISTOIRE DU DOGME DE LA DIVINITÉ DE JÉSUS-CHRIST. 1 vol.

**W. de Fonvielle.**

L'ASTRONOMIE MODERNE. 1 vol.

**C. Coignet.**

LA MORALE INDÉPENDANTE. 1 vol.

**E. Boutmy.**

PHILOSOPHIE DE L'ARCHITECTURE EN GRÈCE. 1 vol.

**Et. Vacherot.**

LA SCIENCE ET LA CONSCIENCE. 1 vol.

**Ém. de Laveleye.**

DES FORMES DE GOUVERNEMENT. 1 vol.

**Herbert Spencer.**

CLASSIFICATION DES SCIENCES. 1 vol.

**Max Muller.**

LA SCIENCE DE LA RELIGION. 1 vol.

**Max Muller.**

LA SCIENCE DE LA RELIGION. 1 vol.

**Gauckler.**

LE BEAU ET SON HISTOIRE.

**Léon Dumont.**

HŒCKEL ET LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION EN ALLEMAGNE.

*(Sous presse.)*

# BIBLIOTHÈQUE D'HISTOIRE CONTEMPORAINE

Volumes in-18, à 3 fr. 50 c.

Cartonnés, 4 fr.

**Carlyle.**

HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, traduit de l'anglais par M. Elias Regnault. 3 vol.

**Victor Meunier.**

SCIENCE ET DÉMOCRATIE. 2 vol.

**Jules Barni.**

HISTOIRE DES IDÉES MORALES ET POLITIQUES EN FRANCE AU XVIII^e^ SIÈCLE. 2 vol.

NAPOLÉON I^er^ ET SON HISTORIEN M. THIERS. 1 vol.

**Auguste Laugel.**

LES ÉTATS-UNIS PENDANT LA GUERRE (1861-1865). Souvenirs personnels. 1 vol.

**De Rochau.**

HISTOIRE DE LA RESTAURATION, traduit de l'allemand. 1 vol.

**Eug. Véron.**

HISTOIRE DE LA PRUSSE depuis la mort de Frédéric II jusqu'à la bataille de Sadowa. 1 vol.

**Hillebrand.**

LA PRUSSE CONTEMPORAINE ET SES INSTITUTIONS. 1 vol.

**Eug. Despois.**

LE VANDALISME RÉVOLUTIONNAIRE. Fondations littéraires, scientifiques et artistiques de la Convention. 1 vol.

**Thackeray.**

LES QUATRE GEORGE, trad. de l'anglais par M. Lefoyer, précédé d'une Préface par M. Prévost-Paradol. 1 vol.

**Bagehot.**

LA CONSTITUTION ANGLAISE, trad. de l'anglais. 1 vol.

**Émile Montégut.**

LES PAYS-BAS. Impressions de voyage et d'art. 1 vol.

**Émile Beaussire.**

LA GUERRE ÉTRANGÈRE ET LA GUERRE CIVILE. 1 vol.

**Édouard Sayous.**

HISTOIRE DES HONGROIS et de leur littérature politique de 1790 à 1815. 1 vol.

**Éd. Bourloton.**

L'ALLEMAGNE CONTEMPORAINE. 1 v.

**Boert.**

LA GUERRE DE 1870-1871 d'après le colonel fédéral suisse Rustow. 1 vol.

**Herbert Barry.**

LA RUSSIE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 1 vol.

**H. Dixon.**

LA SUISSE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 1 vol.

**Louis Teste.**

L'ESPAGNE CONTEMPORAINE, journal d'un voyageur. 1 vol.

## FORMAT IN-8.

**Sir G. Cornewall Lewis.**

HISTOIRE GOUVERNEMENTALE DE L'ANGLETERRE DE 1770 JUSQU'A 1830, trad. de l'anglais et précédé de la Vie de l'auteur, par M. Mervoyer. 1 v. 7 fr.

**De Sybel.**

HISTOIRE DE L'EUROPE PENDANT LA RÉVOLUTION FRANÇAISE.

1869. Tome I^er^, 1 vol. in-8, trad. de l'allemand. 7 fr.

1870. Tome II, 1 v. in-8. 7 fr.

**Taxile Delord.**

HISTOIRE DU SECOND EMPIRE, 1848-1869.

1869. Tome I^er^, 1 vol. in-8. 7 fr.

1870. Tome II, 1 fort vol. in-8. 7 fr.

1872. Tome III, 1 fort. vol. in-8 7 fr.

**Émile Alglave.**

HISTOIRE DE L'IMPÔT SUR LE REVENU EN FRANCE.

(*Sous presse.*)

| REVUE<br>**Politique et Littéraire**<br>(Revue des cours littéraires, 2e série.) | REVUE<br>**Scientifique**<br>(Revue des cours scientifiques 2e série.) |
|---|---|

**Directeurs : MM. Eug. YUNG et Ém. ALGLAVE**

La septième année de la **Revue des Cours littéraires** et de la **Revue des Cours scientifiques**, terminée à la fin de juin 1871, clôt la première série de cette publication.

La deuxième série a commencé le 1er juillet 1871, et dorénavant chacune des années de la collection commencera à cette date. Des modifications importantes ont été introduites dans ces deux publications.

La *Revue des Cours littéraires* continue à donner une place aussi large à la littérature, à l'histoire, à la philosophie, etc., mais elle a agrandi son cadre, afin de pouvoir aborder en même temps la politique et les questions sociales. En conséquence, elle a augmenté de moitié le nombre des colonnes de chaque numéro (48 colonnes au lieu de 32). Elle s'appelle maintenant la **Revue politique et littéraire**, *Revue des Cours littéraires* (2e série).

La *Revue des Cours scientifiques*, en laissant toujours la première place à l'enseignement supérieur proprement dit et aux sociétés savantes de la France et de l'étranger, poursuit tous les développements de la science sur le terrain politique, économique et militaire. Elle a pris le même accroissement que la *Revue politique et littéraire* et publie également chaque semaine 48 colonnes au lieu de 32. Elle s'appelle la **Revue scientifique**, *Revue des Cours scientifiques* (2e série).

**Prix d'abonnement :**

| | Une seule revue séparément | | Les deux revues ensemble | |
|---|---|---|---|---|
| | Six mois. | Un an. | Six mois. | Un an. |
| Paris | 12f | 20f | 20f | 36f |
| Départements. | 15 | 25 | 25 | 42 |
| Étranger | 18 | 30 | 30 | 50 |

Prix de chaque numéro : 50 centimes.

L'abonnement part du 1er juillet, du 1er octobre, du 1er janvier et du 1er avril de chaque année.

Les sept premières années (1864 à 1871) de la *Revue des Cours littéraires* et de la *Revue des Cours scientifiques*, formant la première série de cette publication, sont en vente : on peut se les procurer brochées ou reliées.

Prix de chaque volume pris séparément............. br. 15 fr.
Prix de la collection complète de chaque Revue, 7 gr. v. in-4°. 105 fr.
La collection complète des deux Revues, 14 gros vol. in-4°. 182 fr

# REVUE DES COURS LITTERAIRES

Table générale des matières contenues dans la première série (1864-1871).

## MORALE

Le devoir, par M. Jules Simon, VI. — Le gouvernement de la vie, par le R. P. Hyacinthe, VII. — Du bonheur et des plaisirs vrais, par M. Ch. Lévêque, I. — Le droit naturel et la famille, par M. Ad. Franck, II. — La société domestique, la société conjugale, le foyer domestique (trois conférences), par le R. P. Hyacinthe, IV. — La famille, par M. Jules Simon, VI. — Les pères et les enfants au XIX[e] siècle, douze leçons, par M. Legouvé, IV. — Les domestiques d'autrefois et ceux d'aujourd'hui; la présence des filles à la maison, par le même, VI.

Antériorité du droit sur le devoir, par M. l'abbé Loyson, VI. — Les théories morales de l'antiquité, par M. Tissandier, V. — La morale évangélique, par M. l'abbé Loyson, VI. — Les doctrines morales au XVI[e] siècle, par M. Ernest Bersot, VI. — La morale de Spinoza, par M. Ch. Lemonnier, III. — La morale indépendante, sept leçons, par M. Caro, V. — La morale laïque, par M. Ch. Lévêque, VI. — Le principe humain et le principe divin de la morale, par M. Em. Beaussire, VI.

Le luxe, par M. Batbie, IV. — Même sujet, par M. Horn, V. — Le luxe des vêtements au moyen âge, par M. Baudrillart, VI. — Les femmes et la mode, par madame Sezzi, II. — L'amour platonique, par M. Waddington, I. — Caton et les dames romaines, par M. Aderer, IV. — Saint Jérôme et les dames romaines, par le même, VI.

L'étroitesse d'esprit, par M. Ath. Coquerel, VII. — L'amour de sa profession, par M. Jules Favre, VI. — L'acteur, le fonctionnaire, le journaliste, par M. Francisque Sarcey, VI.

## THÉOLOGIE

Vie de Jésus, par M. de Pressensé, I. — Du témoignage des martyrs en faveur de la divinité de Jésus-Christ, par M. l'abbé Perreyve, I. — Les pères de l'école d'Alexandrie et la papauté primitive, par M. l'abbé Freppel, II. — Du pouvoir direct et indirect de l'Église sur le temporel des rois, par M. l'abbé Méric, VII. — Le protestantisme sous Charles IX, par M. l'abbé Perraud, VII.— Le colloque de Poissy, par le même, VII. — Le système de Herder, par M. l'abbé Dourif, II. — Le déisme, par le R. P. Hyacinthe, II. — Le christianisme de J. J. Rousseau, par M. Fontanès, VII. — La religion progressive, par M. Despois, VII. — L'unité de l'esprit parmi les chrétiens, par M. Fontanès, IV. — Pourquoi la France n'est-elle pas protestante? par M. Ath. Coquerel fils, III. — Des progrès religieux hors du christianisme, par sir John Bowring, III. — Les pro-

grès du catholicisme en Angleterre, par M. Gaidoz, VII. — La Rome actuelle et le concile, par M. de Pressensé, VII.

**PHILOSOPHIE**

Sa définition et son objet (3 leçons), par M. Paul Janet, II. — Origine de la connaissance humaine, par M. Moleschott, II. — L'homme est-il la mesure de toutes choses? par M. Paul Janet, III. — De la personnalité humaine, par M. Caro, IV. — L'intelligence, par M. Taine, VII. — La physiologie de la pensée, par M. Bain, VI. — L'existence indépendante de l'âme, par M. Schrœder van der Kolk, V. — Distinction de l'âme et du corps, par M. Paul Janet, I. — L'âme des bêtes, par M. Brisebarre, I. — Même sujet, par M. P. Janet, V. — L'induction, par M. Em. Beaussire, VII. — Le problème de la création, par M. Caro, VII. — Idée d'une géographie et d'une ethnographie psychologiques, par M. Ch. Lévêque, I. — Le fatalisme et la liberté, par le même, II. — L'âme humaine dans l'histoire, par M. Bohn, II. — Situation actuelle du spiritualisme, par M. Caro, II. — Le spiritualisme libéral, par M. Em. Beaussire, V. — La liberté philosophique, par le même, V. — Matérialisme, idéalisme, spiritualisme, par M. Ravaisson, V.

Philosophie de l'Inde, par M. Paul Janet, II. — Le mysticisme dans l'Orient ancien et moderne, par M. Ch. Lévêque, V. — Du monothéisme juif, par M. Munck, II. — Démocrite, par M. Ch. Lévêque, I. — Socrate et les sophistes, par M. Lorquet, I. — L'école socratique, par M. Vera, VII. — Le stoïcisme, par M. Tissandier, V. — Le christianisme des philosophes païens, par M. Havet, II. — Le procès de Galilée, par M. Trouessart. — Les trois Galilée, par M. Philarète Chasles, IV. — Descartes, par M. Bohn, II. — Des controverses philosophiques au XVII$^e$ siècle (10 leçons), par M. Paul Janet, IV. — Preuves de l'existence de Dieu d'après Descartes (7 leçons), par le même, V. — Diderot, par M. Jules Barni, III. — Saint-Simon, par M. Ch. Lemonnier, I. — Kant et la métaphysique, par M. Paul Janet, VI. — La philosophie allemande en France depuis 1815, par le même, V. — M. Cousin et sa philosophie, par M. Vera, II. — Victor Cousin, par M. Ch. Lévêque, IV. — Philosophie des deux Ampère, par M. Em. Beaussire, VII. — Les spirites, par M. Tissandier, II. — La philosophie contemporaine en Italie, par M. Em. Beaussire, VII. — Le mouvement philosophique en Sicile, par le même, IV. — Les deux philosophies, Stuart Mill et Hamilton, par le même, VI. — La psychologie anglaise contemporaine, par le même, VII. — Même sujet, par M. Joly, VII. — La psychologie de M. Bain, par M. Stuart Mill, VI. — Un précurseur de Darwin, par M. Joly, VI. — La nouvelle philosophie scientifique, par M. Ch. Lévêque, VII. — La science moderne et la métaphysique, par le même, VII.

**POLITIQUE**

Les devoirs civiques, par M. Jules Favre, VII. — De la moral

dans la démocratie, par M. Jules Barni, II. — Le respect du droit d'autrui, par M. Beudant, VII. — Principes de la société moderne, par M. Albicini, IV. — De la civilisation, par M. Duveyrier, II. — La vraie et la fausse égalité, par M. Ad. Franck, IV. — De l'union des classes, par M. Paul Janet, V. — La raison d'État, par M. Ferri, II. — La libre conscience, par M. de Pressensé, VII. — Du progrès, par M. Laboulaye, VI. — La révolution pacifique, par M. Saint-Marc Girardin, VII.

Constitution des États-Unis (9 leçons), par M. Laboulaye, I. — Organisation politique de l'Angleterre, par M. Fleury, II. — Une Académie politique sous le cardinal de Fleury, par M. Paul Janet, II. — Louis XV et la diplomatie secrète, par M. Raimbaud, V. — Principes et caractères de la révolution française, par M. Macé, IV. — L'Assemblée constituante : les cahiers de 1789, Déclaration des droits de l'homme, suppression de la féodalité, premier projet de constitution, question du véto, exclusion des ministres de l'Assemblée, réorganisation administrative, loi électorale, suffrage universel, droit de paix et de guerre, serment civique, organisation judiciaire, municipalité de Paris, par M. Laboulaye, VI et VII. — L'esprit de privilége sous la Restauration, par M. Baudrillart, V.

Principaux publicistes : Locke, Montesquieu, madame de Staël, Benjamin Constant, Royer-Collard, Sismondi, par M. Ad. Franck, I, IV et VI. — Malesherbes, par M. Laboulaye, VII. — L'éloquence politique, par M. Guibal, VI. — Les orateurs de la Constituante, par M. Reynald, VII. — Mirabeau, par M. Laboulaye, V et VI. — Mirabeau et la cour, par M. Reynald, VII. — Les orateurs parlementaires de l'Angleterre, par M. Édouard Hervé, III. — Abraham Lincoln, par M. Aug. Cochin, VI. — Le général Grant, par le même, VII. — Montalembert, par le même, VII.

Wilberforce, par M. Bersier, II. — Les nègres affranchis des États-Unis, par MM. Laboulaye, Leigh, de Pressensé, Sunderland, Coquerel fils, Crémieux, Rosseuw Saint-Hilaire, Th. Monod, II; par MM. Laboulaye, Franck, Albert de Broglie, Chamerovzow, Augustin Cochin, Dhombres, III. — La traite et l'esclavage, par MM. Laboulaye, Augustin Cochin, Horn, Mage, Knox, Beraza, IV. — Les résultats de l'émancipation, par MM. Laboulaye, Garrison, Albert de Broglie, général Dubois, etc., IV.

La guerre, par M. Ath. Coquerel, VI. — La paix et la guerre, par M. Ad. Franck, I. — La paix perpétuelle, par M. Ch. Lemonnier, IV. — La ligue de la paix, par M. Michel Chevalier, VI. — Même sujet, par le R. P. Hyacinthe, VI.

## LÉGISLATION

Introduction générale à l'étude du droit, par M. Beudant, I. — Philosophie du droit civil, par M. Ad. Franck, II. — Cours de droit civil (première année), par M. Valette, I et II. — Du droit de punir, par M. Ortolan, II. — La loi pénale et la science du droit criminel, par M. Mouton, VI. — Le droit pénal et la

## ÉCONOMIE POLITIQUE



## QUESTIONS SOCIALES



## ENSEIGNEMENT

par M. Tamagni, I. — L'étude de l'histoire, l'éducation oratoire, par M. Carlyle, III. — L'instruction moderne, par M. Stuart Mill, IV. — De l'état actuel de l'Université, par M. Mézières, IV. — De l'enseignement supérieur français, par M. Eugène Véron, II. — Le doctorat ès lettres, par M. Ch. Lévêque, VI. — Les universités anglaises, par M. Challemel-Lacour, II. — Les professeurs des universités allemandes, par M. Élias Regnault, II. — L'enseignement supérieur français et l'enseignement supérieur allemand, par M. H. Heinrich, III. — L'université d'Iéna, par M. Louis Koch, III. — Les programmes des universités allemandes, par M. Louis Leger, VI. — Histoire de l'enseignement de la procédure, par M. Paringault, III. — L'enseignement du droit à Rome, par M. Bremer, VI. — L'enseignement de l'École des chartes, par M. Emile Alglave, II. — Un lycée de filles en Amérique, par M. Gaidoz, V. — Le service militaire dans les Universités allemandes, par M. L. Koch, VI.

Conférences et conférenciers, par M. L. Simonin, V. — Les conférences de la rue de la Paix, par M. Eugène Véron, II. — La chaire d'éloquence française à la Sorbonne, par M. Saint-René Taillandier, V. — Eugène Gandar, professeur d'éloquence française, par M. Em. Beaussire, VII. — M. Berger, professeur d'éloquence latine, par M. Martha, VII. — Le cours de M. Jules Barni à Genève, par M. Eugène Despois, III. — Discours d'ouverture de l'Athénée, par M. Eug. Yung, III. — Discours d'ouverture des conférences du boulevard des Capucines, par M. Em. Deschanel, V. — Discours de réouverture des mêmes conférences, par M. Sarcey, V et VI. — Les conférences en Angleterre et en Amérique, par M. Laboulaye, VII.

Les bibliothèques populaires, par M. Jules Simon, II et III; par M. Ed. Charton; par M. Laboulaye, III. — De l'éducation qu'on se donne à soi-même, par M. Laboulaye, III. — Du choix des lectures populaires, par M. Saint-Marc Girardin, III.

De l'avenir de l'instruction populaire, par M. Jules Favre, VI. — L'instruction populaire, par MM. de Pressensé, Royer-Collard et Rosseuw Saint-Hilaire, IV. — L'instruction primaire en 1867, par M. Guizot, IV. — La vérité sur l'instruction primaire en Prusse, par M. L. Koch, V.

## HISTOIRE ANCIENNE

Du rôle de la Grèce dans l'histoire du monde, par M. Gladstone, III. — La cité antique, ouvrage de M. Fustel de Coulanges, par M. Édouard Tournier, V. — Histoire de la civilisation grecque (10 leçons), par M. Alfred Maury, I. — La diplomatie dans l'antiquité, par M. Egger, VI.

État moral des Romains sous la république, sous l'empire (3 leçons), par M. Alfred Maury, I. — Les pauvres dans l'ancienne Rome, par M. Crouslé, VI. — Recherches sur la mort de César, par M. Dubois (d'Amiens), V. — La vie privée de l'empereur Auguste, par le même, VI. — Auguste, son siècle, sa famille,

ses amis (6 leçons), par M. Beulé, IV. — Les successeurs d'Auguste, Tibère, Caligula (7 leçons), par le même, V. — Le testament politique d'Auguste, par M. Abel Desjardins, III. — Le portrait de Néron, par M. Beulé, VI. — L'impératrice Faustine, femme de Marc-Aurèle, par M. Ernest Renan, IV. — L'impérialisme romain, par M. Seeley, VII. — Les libertés municipales dans l'empire romain, par M. de Valroger, II. — La société romaine du temps des premiers empereurs comparée à la société française de l'ancien régime, par M. A. Maury, II. — La vie épicurienne des Romains sous l'empire, par M. Gebhart, VI. — Le paganisme au temps de Plutarque, par M. Egger, II. — L'organisation du travail dans l'empire romain, par M. Lacroix, VII. — L'Afrique au temps de Tertullien, par l'abbé Freppel, I. — Le monde romain et les barbares, par M. A. Geoffroy, II.

## HISTOIRE DU MOYEN AGE

Origines du peuple français, par M. Henri Martin, VII. — De l'origine des monuments appelés celtiques, par le même, IV. — Les Bretons d'Angleterre et les Bretons de France, par M. de la Villemarqué, IV. — Charlemagne économiste, par M. Abel Desjardins, IV. — Charlemagne et Alcuin, par le même, IV. — La théorie féodale, par M. Paulin Pâris, II. — De l'état social au moyen âge d'après les archives des couvents, par M. Vallet de Viriville, I. — La poésie et la vie réelle au moyen âge, par M. Gebhart, VII. — La reconnaissance des peuples sauvés, épisode de l'histoire de Venise et du Bas-Empire, par M. J. Armingaud, V. — Une année de la guerre de Cent ans, par M. Berlioux, II. — L'Italie au moyen âge, par M. Huillard-Bréholles, VI. — Relations de la France avec l'Italie au XVI^e siècle, par M. Wallon, I et II. — Lucrèce Borgia, par M. Philarète Chasles, VII. — François I^er et Marguerite de Navarre, par M. Zeller, V. — La Réforme, par M. Bancel, I. — De l'histoire du protestantisme français, par M. Guizot, III.

## HISTOIRE MODERNE

L'Allemagne pendant la guerre de Trente ans, par M. Bossert, IV. — Mazarin, par M. Wolowski, IV. — Le procès de Fouquet, par M. Maze, V. — Vauban, par M. Baudrillart, IV. — Les colonies françaises sous Louis XIV, par M. Jules Duval, VI. — De la civilisation en France et en Angleterre depuis le XVII^e siècle jusqu'à nos jours (20 leçons), par M. Alfred Maury, III et IV. — L'Allemagne depuis le traité de Westphalie (8 leçons), par le même, V. — La France au XVIII^e siècle (8 leçons), par le même, V. — Frédéric le Grand et sa politique, par M. Ed. Sayous, II. — Catherine II et sa cour, par M. Schnitzler, II. — Même sujet, par M. Blanchet, VI. — Voyage de Joseph II à la cour de Marie-Antoinette, par le même, III. — Les quatre George, par Thackeray, V. — De l'administration française sous Louis XVI, tableau des institutions et des idées de l'ancien régime (52 le-

çons), par M. Laboulaye, II, III et IV. — Les approches de la révolution (1787-1789, 10 leçons), par le même, V. — Fondation des États-Unis, rôle de la France, par M. Maze, VI. — L'Assemblée constituante : les élections de 1789, ouverture des états généraux, Mirabeau journaliste, serment du Jeu de paume, séance du 23 juin, réunion des ordres, prise de la Bastille, les massacres, assassinat de Foulon et Berthier, la nuit du 4 août, les 5 et 6 octobre, destruction des parlements, confiscation des biens du clergé, les assignats, la liste civile, la constitution civile du clergé, Camille Desmoulins et Marat, les Suisses de Châteauvieux, par M. Laboulaye, VI et VII. — La guillotine et la révolution française, par M. Dubois (d'Amiens), III. — Le vandalisme révolutionnaire, ouvrage de M. Despois, par M. Eug. Véron, V. — Les assignats, par M. Émile Levasseur, III. — Du sentiment religieux dans la révolution française, par M. de Pressensé, II. — Le premier consul, par M. Jules Barni, VI. — Napoléon Ier et son historien M. Thiers, par M. Despois, VII. — Waterloo, par M. Chesney, VI. — Les alliés à Paris en 1814 et 1815, par M. Léon Say, V. — Épisodes de la guerre des États-Unis (1861 à 1865), par M. Auguste Laugel, II. — Les provinces rhénanes, par M. de Sybel, VI. — Les frontières naturelles de la France, par M. Himly, IV.

Formation territoriale de la Prusse; part de la France dans sa première grandeur; la Prusse sous le *roi sergent;* opinion de Frédéric II sur nos frontières du Rhin; le fusil de Molwitz; alliances de la France avec la Prusse; la guerre de Sept ans; les Russes en Pologne; la diplomatie prussienne et la Révolution française; la Prusse et Napoléon Ier, par M. Combes, VII.

### LITTÉRATURE GÉNÉRALE

De l'influence des mœurs publiques sur la littérature, par M. Jules Favre, VI. — La prose, la poésie, par M. Paul Albert, V. — L'éloquence religieuse, le roman, les épopées et le théâtre au moyen âge, par le même, VII. — Le diable au point de vue poétique, par M. Büchner, VI. — Les contes de fées, par M. de Tréverret. V. — L'art théâtral, par M. Ad. Crémieux, VI. — Historiens anciens et modernes, par M. Benlœw, V. — De la loi de réaction dans l'histoire et les lettres, par le même, V. — Développement de la critique et du droit d'examen dans l'Europe contemporaine, par M. Philarète Chasles, V.

### LITTÉRATURE GRECQUE

Coup d'œil sur l'histoire de la langue grecque, par M. Egger, IV. — Homère, par M. Spielhagen, III. — Même sujet, par M. Jules Girard, VI. — Les poëmes homériques, par M. Hignard, III. — La famille dans Homère, par M. Moy, VI. — La poésie épique, par M. Steinthal, III. — La parole et l'écriture chez les Grecs, par M. Curtius, II. — Némésis, ou la jalousie des dieux, thèse de M. Édouard Tournier, par M. H. Weil, II. — De la langue et

de la nationalité grecques, Hésiode, les poëtes cycliques, origine de la prose, la science historique chez les Grecs, les prédécesseurs d'Hérodote, Thucydide, Xénophon, Plutarque (10 leçons), par M. Egger, I et II. — Le siècle de Périclès, par le même, III. — Le drame et l'État chez les Athéniens, par M. Émile Burnouf, III. — Moralité des légendes dramatiques de la Grèce, par M. Egger, VII. — La tradition classique dans la pastorale et l'apologue, par le même, VI. — La littérature à Athènes pendant les guerres, par le même, VII. — Valeur historique des discours de Thucydide, par M. J. Denis, II. — Pausanias, par M. Bétant, II. — La littérature grecque au temps d'Alexandre et de ses successeurs, par M. Egger, IV. — La littérature grecque et la littérature latine comparées, par M. Havet, III. — Épictète, par le même, VI. — M. Hase et les savants grecs émigrés à Paris sous le premier empire et sous la restauration, par M. Brunet de Presle, II. — Le grec moderne, par M. Egger, II; par Brunet de Presle, III. — Influence du génie grec sur le génie français (4 leçons), par Egger, V. — Influence du génie grec au XIXe siècle, par le même, VI. — Intérêt moderne de la littérature grecque, par M. Matheew Arnold, VI.

## LITTÉRATURE LATINE

Térence, par M. Talbot, III. — Lucrèce et Catulle, par M. Patin, II. — Lucrèce, par M. Despois, VII. — La poésie rustique, par M. Martha, III. — Cicéron et ses amis, par M. Eugène Despois, III. — Cicéron après le passage du Rubicon, par M. Berger, I. — Étude de la société romaine d'après les plaidoyers de Cicéron; un gouvernement de province au temps de Verrès, par M. Havet, I. — Lettres de Brutus et de Cicéron, par le même, VII. — L'acteur Roscius, par M. Hermann Göll, VII. — Les mémoires à Rome avant César, par M. Berger, VI. — L'*Énéide*, par M. Jules Girard, VII. — L'éloquence au temps d'Auguste, par M. Berger, II. — Le procès de la littérature du siècle d'Auguste, par M. Beulé, IV. — Tacite, par M. Havet, I. — Juvénal et ses œuvres, le turbot de Domitien, par M. Martha, I. — Juvénal et son temps, par M. Gaston Boissier, III. — Juvénal et ses satires, par M. Despois, VII. — L'empire et l'état des esprits à l'époque d'Adrien, par M. Berger, III. — La jeunesse de Marc-Aurèle, Fronton historien, par M. Berger, III. — La littérature latine de Tacite à Tertullien, par M. Havet, IV.

## LITTÉRATURE FRANÇAISE

Origines de la littérature française, par M. Gaston Pâris, IV. — Le génie de la Bretagne, par M. Félix Frank, III. — Les romans de la Table-Ronde, par M. Paulin Pâris, I. — La chanson de Roncevaux, par M. A. Viguier, II. — De la poésie provençale, par M. Paul Meyer, II. — Ronsard, par M. Lenient, VII. — La

seconde renaissance française, par le même, VII. — Jeunesse de Montaigne; idées de Montaigne sur les lois de son temps, par M. Guillaume Guizot, III. — Histoire du théâtre en France, par M. Thévenin, I. —Les Mémoires de Sully, par M. Lavisse, VI. — Vie et œuvres de Mézeray, par M. Patin, III. — Rotrou, par M. Saint-René Taillandier, I. — Hommes de robe au XVII<sup>e</sup> siècle, par M. Gidel, V. — Gazettes et journaux au XVII<sup>e</sup> siècle, par le même, VI. — Les gens de province au XVII<sup>e</sup> siècle, par le même, VII. — Bourgeois et gentilshommes au XVII<sup>e</sup> siècle, par le même, IV. — Une visite à Port-Royal, par M. Lenient, V. — Bourdaloue, la politique chrétienne, par M. J. J. Weiss, III. — Rieurs mélancoliques : Villon, Scarron, Molière, par M. Talbot, V. — Molière et ses prédécesseurs du XVI<sup>e</sup> siècle, par M. Bocher, VI. — Molière et l'en-cas de nuit, par M. Despois, VII. — Molière, conférence de M. Deschanel, IV. — Molière, par M. Marc Monnier, IV. — Les femmes dans Molière, par M. Aderer, II. — La Fontaine et ses fables, par M. Saint-Marc Girardin, I. — La Fontaine et ses critiques, par M. J. Claretie, I. — La satire dans les fables de la Fontaine, par M. Crouslé, V. — Les faux autographes de madame de Maintenon, par M. Grimblot, IV. — Saint-Simon, par M. Deschanel, I. — La littérature d'une génération (1720-1750), par M. Étienne, VII. — Du rôle des gens de lettres au XVIII<sup>e</sup> siècle, par M. Paul Albert, III. — Montesquieu, par M. Gandar, II. — J. J. Rousseau et les encyclopédistes, par M. Paul Albert, III. — J. J. Rousseau, par M. Gidel, V. — La jeunesse de Diderot et de Rousseau, par M. Gandar, V. — Grimm et Diderot, par M. Reynald, VI. — Voltaire (7 leçons), par M. Saint-Marc Girardin, V. — Les correspondants de Voltaire, Bolingbroke, par M. Reynald, V. — La statue de Voltaire, conférence de M. Deschanel, IV. — Influence des salons sur la littérature au XVIII<sup>e</sup> siècle, par M. de Loménie, I. — Fontenelle et les salons au XVIII<sup>e</sup> siècle, par M. Hippeau, II. — Un épisode de l'histoire de la censure au XVIII<sup>e</sup> siècle, par M. Hauréau, V. — Le marquis de Mirabeau, par M. L. de Lavergne, V. — Le marquis d'Argenson, par M. Em. Levasseur, V. — La comédie après Molière, par M. Lenient, IV. — Regnard, par M. Ordinaire, VII. — Les valets dans la comédie, par M. Gaucher, III. — La comédie et les mœurs au XVIII<sup>e</sup> siècle, par M. Ch. Gidel, III. — Le décor au théâtre, par M. Talbot, IV. — Le théâtre de Favart: Piron et Gresset, par M. J. J. Weiss, II. — Bailly et l'*Abbé de l'Épée*, par M. Legouvé, VII. — La tragédie de *Médée*, par le même, VII. — Lekain, Talma, mademoiselle Rachel, par M. Samson, III. — De la convention au théâtre, les pièces de M. Alexandre Dumas fils, le théâtre de M. Émile Augier, les pièces nouvelles, etc., conférences de M. Francisque Sarcey, IV. — Le théâtre de George Sand, par M. C. de Chancel, II. — Le théâtre de M. Emile Augier, par le même, III. — L'homme et l'argent dans la comédie et dans l'histoire, par M. Conus, V.— Comparai-

son entre Henri Heine et Alfred de Musset, par M. William Reymond, III. — La poésie, la musique et l'art dans la Provence moderne, par M. Philarète Chasles, I. — Les lettres et la liberté, ouvrage de M. Despois, par M. Eug. Véron, III. — Alfred de Vigny, par M. L. de Ratisbonne, VI. — Sainte-Beuve, par M. Gaston Boissier, VII. — De l'état actuel de la littérature française, par M. S. de Sacy, V.

### LITTÉRATURES ITALIENNE ET ESPAGNOLE

Dante et ses œuvres, par M. Mézières, II. — De l'apostolat de Dante, par M. Hillebrand, II. — Dante poëte lyrique, la *Divine comédie*, par M. Bergmann, III. — Dante considéré comme citoyen, par M. Gebbardt, III. — De la renaissance en Italie, par le même, III. — Le théâtre italien au xv[e] siècle, par M. Hillebrand, V. — Pétrarque, ouvrage de M. Mézières, par M. Em. Beaussire, V. — Pétrarque historien de César, par M. Berger, VI. — La correspondance du Tasse, par M. Reynald, IV. — Décadence et renaissance des lettres en Italie, par le même, IV. — Florence et le génie italien, par le même, IV. — Machiavel, par M. Twesten, V. — Cervantès, par M. Émile Chasles, II. — Don Quichotte, par Reynald, II. — Comparaison des théâtres de l'Espagne et de l'Angleterre, par Büchner, VII.

### LITTÉRATURE ANGLAISE

Hamlet, par M. Mayow, V. — Shakspeare poëte comique, par M. de Tréverret, VII. — L'esprit humoriste, par M. Gebhart, IV. — Les autobiographes et les voyageurs anglais, par M. Philarète Chasles, I. — Les romanciers et les journalistes anglais, par M. Mézières, I. — Naissance de la presse en Angleterre, par le même, VII. — Les moralistes anglais au xviii[e] siècle, par M. Reynald, II. — Gulliver, par le même, III. — Tom Jones, par M. Hillebrand, III. — Robinson Crusoé, par le même, III. — Saint-Évremond et Hortense Mazarin à Londres, par M. Ch. Gidel, IV. — La féerie en Angleterre, par M. North-Peath, II. — Les chants de l'Irlande rebelle, par M. Gaidoz, V. — Les romans de Ch. Dickens, par M. J. Gourdault, II. — Charles Dickens, par M. Büchner, VII.

### LITTÉRATURE ALLEMANDE

Hans Sachs, poëte allemand du xvi[e] siècle, par M. Léon Boré, III. — La Réforme et la Renaissance en Allemagne, par M. Gebhart, VI. — L'esprit théologique et l'esprit littéraire en Allemagne, par M. Bossert, VII. — Influence du *Laocoon* de Lessing sur la littérature, par M. Gümlich, III. — Rôle littéraire de Lessing, par M. Grücker, V. — La jeune Allemagne de 1775, par M. Hillebrand, IV. — Un humoriste allemand, par M. Dietz, V. — La vie d'Alexandre de Humboldt, par Dowe, VII. — Le roman populaire dans l'Allemagne contemporaine, par Dietz, V et VII. — Le mouvement littéraire en Allemagne, par le même, VI.

## LITTÉRATURES SLAVES

De l'état actuel de la littérature en Russie, par M. Chodzko, III. — Le drame moderne en Russie, par le même, V. — Les études historiques en Russie, par M. Pogodine, VII. — L'enseignement du russe, par M. L. Leger, V. — Le pluriel, le singulier et le panslavisme, par le même, V. — La poésie épique en Bohême, par le même, V. — Une Académie chez les Croates, par M. L. Leger, V. — L'Académie d'Agram, par le même, VI — La littérature slave en Bulgarie au moyen âge, par le même, VI. — Le drame moderne en Serbie, par M. Chodzko, VII. — Le mouvement intellectuel en Serbie, par M. L. Leger, V. — La langue et la poésie roumaines, par M. Philarète Chasles, III.

## ÉTUDES ORIENTALES

Les éléments fédératifs des Aryas européens, par M. Duchinski, I. — Les Aryas primitifs, par M. Girard de Rialle, VI. — Le culte de l'arbre et du serpent dans l'Inde, par M. Fergusson, VI. — Les castes dans l'Inde, par M. Hauvette-Besnault, VII. — Le nihilisme bouddhique, par M. Max Müller, VII. — Le conte égyptien des Deux frères, par M. Maspero, VII. — Histoire du déchiffrement des inscriptions cunéiformes, par M. Oppert, I. — Le Talmud, par M. Deutsch, V. — Le bouddhisme tibétain, par M. Léon Feer, II. — Les voyageurs au Tibet, par le même, V. — Les nouvelles découvertes au Tibet, les contes mongols, les peuplades du Brahmaputra et de l'Iravadi, par le même, VI. — L'Essence de la sagesse transcendante, par le même, III. — La composition du Coran, par M. Hartwig Derenbourg, VI. — De l'histoire philologique et littéraire de la Turquie, par M. Barbier de Meynard, I.

## PHILOLOGIE COMPARÉE

Considérations générales, par M. Hase, I. — La science du langage, par M. Max Müller, I et III. — Que la philologie est une science, par M. Farrar, VI. — De la forme et de la fonction des mots, par M. Michel Bréal, IV. — Morphologie des langues, par M. Schleicher, II. — De la méthode comparative appliquée à l'étude des langues, par M. Michel Bréal, II. — Grammaire de Bopp, par le même, III. — L'article, par M. Hase, I. — Publications philologiques, par M. Éd. Tournier, V. — Qu'est-ce que faire uue édition? par le même, VI. — La celtomanie, par M. Louis Leger, VII.

## ARCHÉOLOGIE

De l'emploi du bronze et de la pierre dans la haute antiquité, par M. Lubbock (avec 94 figures), III et IV. — Triangulation de Jérusalem, par sir H. James, III. — L'art romain sous les rois, sous la république, topographie de Rome (6 leçons), par M. Beulé, I. — Des fouilles et découvertes archéologiques faites

à Rome depuis dix ans (11 leçons), par le même, III et IV. — Les fouilles du Palatin, par M. Félix Frank, III. — Une nouvelle Alesia découverte en Savoie, par le même, III. — Nouvelle étude sur les camps romains, par M. Heuzey, III. — Antiquités du Mexique et de l'Amérique centrale, par M. l'abbé Brasseur de Bourbourg, I.

## BEAUX-ARTS

L'œuvre d'art, par M. Taine, II. — L'idéal dans l'art, par le même, IV. — Des portraits historiques, par M. Georges Scharf, III. — De l'ornementation et du style, par M. Semper, II. — De l'architecture dans ses rapports avec l'histoire, par M. Viollet-le-Duc, IV. — L'esthétique des lignes, par M. Charles Blanc, VI. — Philosophie de la musique, par M. Ch. Beauquier, II.

L'art indien, égyptien, grec, romain, gréco-romain (6 leçons), par M. Viollet-le-Duc, I. — Le paysage en Grèce, par M. Heuzey, II. — De l'intérêt que les sujets tirés de l'histoire grecque offrent aux artistes, par le même, I. — État des esprits et des caractères en Italie au début du XVIe siècle, philosophie de l'art en Italie (3 leçons), par M. Taine, III. — Léonard de Vinci, par le même, II. — Titien, par le même, IV. — La peinture dans les Pays-Bas, par le même, V. — La peinture flamande ancienne et moderne, par M. Potvin, II. — La peinture en Allemagne au temps de la Réforme, par M. Woltmann, V. — Bernard Palissy, par M. Audiat, II. — Watteau, par M. Léon Dumont, II. — Delacroix et ses œuvres, par M. Alexandre Dumas, II. — Histoire de la musique aux XVIIIe et XIXe siècles, par M. Debriges, I. — Histoire de la musique, par M. Helmboltz, V.

## GÉOGRAPHIE

Géographie de la Gaule, par M. Bourquelot, I. — Histoire des découvertes géographiques au XIXe siècle, par M. Himly, I. — Les États slaves et scandinaves, par le même, II. — Le premier âge des colonies françaises, par M. Jules Duval, V. — La Nouvelle-Calédonie, par M. Jules Garnier, V. — L'Afrique ancienne et moderne, par M. Himly, V. — Les découvertes récentes dans l'Afrique centrale, par Levasseur, II. — L'Abyssinie, par sir S. Baker, V. — L'Algérie et les colonies françaises, par J. Duval, I.

## VOYAGES

Les voyages et la science, par M. Pingaud, VII. — Une visite à Patmos, par M. Petit de Julleville, IV. — Un voyage au Parnasse, par le même, VI. — Les sources du Nil, par sir Samuel Baker, III. — Le Nil, par le même, IV. — Les populations du Nil blanc, un voyage aux sources du Nil, l'Abyssinie, par M. Guillaume Lejean, II. — Le docteur Barth, Livingstone, par M. Jules Duval, IV. — L'Afrique et l'esclavage, par M. Ernest Morin, II. — De Mogador à Maroc, par M. Beaumier, V. —

Madagascar, souvenirs du Mexique, souvenirs du Canada et des États-Unis, par M. Désiré Charnay, II. — Les vrais Robinsons, par M. Victor Chauvin, II. — La vallée de Cachemyr, par M. Guillaume Lejean, IV. — L'intendant Poivre dans l'extrême Orient, par M. Jules Duval, IV. — La commission française dans l'Indo-Chine, par M. Garnier, VI. — Tentative de M. Cooper pour passer directement de la Chine dans l'Inde, par M. Saunders, VII. — De New-York à San-Francisco, par M. Simonin, IV. — Un projet de voyage au pôle Nord, par M. Gustave Lambert, IV.

Une ascension vers le ciel, par M. Tyndall, VII. — A travers la France et l'Italie en 1844, par Ch. Dickens, VII.

## NÉCROLOGIE

De Barante, par M. Guizot, IV. — Victor Le Clerc, par M. Guigniault, III. — Victor Cousin, par M. Patin, IV. — Daveluy, par M. Ch. Lévêque, IV. — Gandar, par M. Beaussire, IV. — Ad. Berger, par M. Martha, VII. — Perdonnet, V. — E. de Suckau, V. — Bœck, par M. Dietz, IV. — Mittermaier, par M. L. Koch, V. — Ortloff, V. — Schleicher, par M. Louis Leger, VI. — Bopp, par M. Guigniault, VII.

## VARIÉTÉS

Causerie historique et littéraire sur la gastronomie, par M. Conus, IV. — Histoire d'un brigand grec, par M. L. Terrier, IV. — Les funérailles de Napoléon I[er], par Thackeray, V. — Étrangers à Paris, Français à l'étranger, par le même, VI.

## GUERRE DE 1870. — SIÉGE DE PARIS

(Voyez le volume de la septième année.)

La guerre de 1870, par M. du Bois-Reymond. — France et Allemagne, par le R. P. Hyacinthe. — Les deux Allemagnes, par M. Mézières. — Les manifestes des professeurs allemands, par M. Geffroy. — La poésie patriotique en France, par M. Lenient. — De la poudre et du pain! par M. Ath. Coquerel. — Les blessés, par le même. — La défense par l'offensive, par M. Ravaisson. — Paris et la province, par M. Augustin Cochin. — Le dernier jour de 1870, par M. Le Berquier. — Du salut public, par M. de Pressensé.

La réunion de l'Alsace à la France, par Ch. Giraud. — Le paysan combattant l'invasion, par Ortolan. — Les réquisitions en temps de guerre, par Colmet de Santerre. — La convention de Genève, par Bonnier. — Le pensionnat de madame l'Europe, ou comment l'Allemand battit et détroussa le Français en présence de l'Anglais, qui le regarda faire (traduit de l'anglais).

# REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES

**Table des matières contenues dans la première série 1864-1871.**

---

## ASTRONOMIE

## PHYSIQUE

chaleur ; travaux de Favre, par Henri Sainte-Claire Deville, VI. — Les conséquences nécessaires et les inconséquences de la théorie mécanique de la chaleur, par J. R. Mayer, VII.

*Électricité.* — Nature de l'électricité, par Bertin, IV. — Les forces électriques, par A. Cazin, VI. — Électricité appliquée aux arts, par Fernet, IV. — Nouvelles machines magnéto-électriques, par C. W. Siemens, Wheatstone, C. F. Varley et W. Ladd, IV.

Application des phénomènes thermo-électriques à la mesure des températures, par Edm. Becquerel, V. — Des phénomènes électro-capillaires, par Onimus, VII. — Action physiologique des courants électriques de peu de durée dans l'intérieur des masses conductrices étendues; des oscillations électriques, par H. Helmholtz, VII. — Faraday, par Dumas, VII.

*Magnétisme.*—Magnétisme et électricité, par Quet, IV.—L'aimant, par Jamin, IV. — Déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer, par A. Smith, III.

*Lumière.* — Théorie de la vision. — Voyez Physiologie (*Sens*).

Images par réflexion et par réfraction; lentilles, cours par Gavarret, III. — Les équivalents de réfraction, par Gladstone, V. — Composition de la lumière, coloration des corps, par Desains, IV.—Transformation des couleurs à l'éclairage artificiel, par Nicklès, III. — Phosphorescence et fluorescence, par A. Serré, V. — Polarisation de la lumière, par Bertin, IV. — Couleur bleue du ciel, polarisation de l'atmosphère, direction des vibrations de la lumière polarisée, par J. Tyndall, VI.

Causes de la lumière dans les flammes lumineuses, par E. Frankland et Henri Sainte-Claire Deville, VI.

*Photochimie*, par Jamin, IV. — Les rayons chimiques et la lumière du ciel, par J. Tyndall, VI. — Opalescence de l'atmosphère, intensité des rayons chimiques, par Roscoë, III. — Photographie, par Fernet, II.

L'analyse spectrale et ses applications à l'astronomie, par W. A. Miller, IV et V. Voyez Astronomie (*Soleil*). — Statique de la lumière dans les phénomènes de la vie, par Dubrunfaut, V.

## MÉTÉOROLOGIE

L'air au point de vue de la physique du globe et de l'hygiène, par Barral, I. — L'atmosphère et les climats, cours par Gavarret, III. — Causes de la diversité des climats, par Marié-Davy, V.

Formation des nuages, par J. Tyndall, VI.—Formation et marche des nuages, par Scoutetten, VI. — La pluviométrie, recherches de Bérigny, par Bienaymé, VI. — Électricité atmosphérique, par Palmieri, II. — La foudre, par Jamin, III.

## GÉOGRAPHIE PHYSIQUE — VOYAGES

Courants marins, par Burat, I. — Courants et glaces des mers polaires, par Ch. Grad, IV. — Conquête du pôle Nord, par

Simonin, V. — L'expédition allemande dans l'océan Glacial arctique en 1868, par Ch. Grad, VII.

Taïti, par Jules Garnier, VI. — Les montagnes Rocheuses, par W. Heine, V. — Le Japon, par La Vieille, V. — Voyage d'exploration scientifique en 1868 et 1869, par R. I. Murchison, VI.

## CHIMIE

*L'affinité. L'action chimique.* — Propriétés générales des corps par Balard, I. — Généralités de la chimie, par S. de Luca, I. — L'affinité, par Chevreul, V. — L'affinité, par Dumas, V. — L'état naissant des corps, par H. Sainte-Claire Deville, VII. — Principes généraux de chimie d'après la thermo-dynamique, par H. Sainte-Claire Deville, V. — Durée des actions chimiques, par Vernon Harcourt, V. — L'action chimique directe et inverse, par W. Odling, VI. — L'affinité. Phénomènes mécaniques de la combinaison, par H. Sainte-Claire Deville, IV. — Actions catalytiques, par Schönhein, III.

*Physique chimique.* — Dialyse, par Balard, I. — Diffusion des gaz, par Graham et Odling, IV. — Absorption des gaz par les métaux, par Odling, V. — Diffusion des corps, par de Luynes, V. — Travaux de Graham, par Williamson et Hoffmann, VII.

*Constitution des corps. Théories chimiques.* — La chimie d'autrefois et celle d'aujourd'hui, par Kopp, IV. — Constitution des corps organiques; les théories chimiques, par Troost, VI. — Les doctrines chimiques depuis Lavoisier, par Würtz, VI. — Constitution chimique des corps et ses rapports avec leurs propriétés physiques et physiologiques, par Crum Brown, VI. — La divisibilité et le poids des molécules (travaux de Williamson). La théorie des types, par A. Ladenburg, VII. — Les états isomériques des corps simples, cours par Berthelot, VI et VII. — Cours de chimie inorganique d'après la théorie typique de Gerhardt, par Daxhelet, VII.

*Métalloïdes.* — Les métalloïdes, cours par A. Riche, II. — Combustion par Würtz, I. — Le feu, par Troost, II. — Chaleur de la flamme oxyhydrogène, par W. Odling, VI.— Le feu liquide, par Nicklès, VI. — L'air, par A. Riche, — et par Peligot, III. Voyez Physique (*Air*). — L'eau, par Würtz, II. — Les eaux de Paris, par A. Riche, III.—Les eaux de Londres, par E. Frankland, V et VI. — Le soufre, par Payen, III, — et par Schutzenberger, V. — Les eaux sulfureuses des Pyrénées, par Filhol, VI. — Constitution du carbone, de l'oxygène, du soufre et du phosphore, par Berthelot, VI et VII. — La synthèse chimique; l'acide cyanhydrique et le sulfure de carbone, par Berthelot, VI. — Poudre (voy. Sciences militaires).

*Sels. Dissolutions.* — Lois de constitution des sels, par H. Sainte-Claire Deville, I. — Spectres chimiques, par S. de Luca, I. — Les dissolutions, par Balard, I. — Les solutions sursaturées, par Ch. Violette, II, — par J. Jeannel, III, — et par Gernez, IV.

*Métaux.* — Méthodes générales de réduction des métaux, par

H. Sainte-Claire Deville, II. — L'aluminium, par le même, I. — Cæsium, rubidium, indium, thallium, par Lamy, V. — L'hydrogénium, par Th. Graham, VII. — Le vanadium et ses composés, par Roscoë, VI. — Les alliages et leurs usages, par Matthiessen, V. — Cyanures doubles du manganèse et du colbalt, par Descamps, V. — Nouveaux fluosels et leurs usages, par Nicklès, V.

*Chimie organique.* — Méthodes générales en chimie organique, par Berthelot. IV. — Rôle de la chaleur dans la formation des combinaisons organiques, cours par Berthelot, II. — Histoire des alcools et des éthers, par Berthelot, II. — Ammoniaques composées ; nouvelles matières colorantes, par A. W. Perkins, VII. — Composés organiques du silicium, par Friedel, V. — Sulfocyanures des radicaux organiques, par Henry, V. — Une nouvelle classe de sels ; l'acide hypochloreux en chimie organique, par Schutzenberger, V. — Les éthers cyaniques, par Cloëz, III. — Chimie organique, par Würtz, II. — Série aromatique, par Bourgoin, III.

*Chimie physiologique.* — Action de l'oxygène sur le sang, par Schönbein, II. — Des fermentations, rôle des êtres microscopiques dans la nature, par Pasteur, II. — Existence dans les tissus des animaux d'une substance fluorescente analogue à la quinine, par Bence Jones, III. — Circulation chimique dans les corps vivants, par Bence Jones, VI. — Études de L. Pasteur sur la maladie des vers à soie, par Duclaux, VII.

*Histoire.* — Les travaux chimiques en Allemagne en 1869, par A. Kékulé, VII. — Scheele; un laboratoire de chimie au xviiie siècle, par Troost, III. — Éloge historique de Pelouze, par Dumas, VII. — Le laboratoire de chimie de la Faculté de médecine de Paris en 1867, par Würtz, V.

## GÉOLOGIE — MINÉRALOGIE

Origine et avenir de la terre, par Contejean, III. — Théorie de la terre de Hutton, par Christison, VI. — Les temps géologiques ; âge et chaleur centrale de la terre, par W. Thomson, VI. — Chaleur centrale de la terre, par Raillard, V. — Périodes géologiques, par Wallace, III.

Formation de la croûte solide du globe, par Ed. Hébert, I. — Oscillations de l'écorce terrestre pendant les époques quaternaire et moderne, par Ed. Hébert, III.

Les montagnes, par Lory, V. — Le réseau pentagonal, par Élie de Beaumont, VI. — La géographie et la géologie, par R. I. Murchison, VII. — Transports diluviens dans les vallées du Rhin et de la Saône, par Fournet, V. — Voyez Physique (*Glaciers*).

Géologie du bassin de Paris, par A. Gaudry, III. — Géologie de l'Auvergne, par Lecoq, II. — L'Alsace pendant la période tertiaire, par Delbos, VII. — Les pays électriques, par Fournet, V. — Théorie des micaschistes et des gneiss, par Fournet, IV.

*Volcans. Tremblements de terre.* — Les volcans et les tremblements de terre, par T. Sterry Hunt, VI. — Phénomènes chimiques

des volcans; causes des éruptions, par Fouqué, III. — Siége probable de l'action volcanique, par T. Sterry Hunt, VII. — Volcans du centre de la France, par Lecoq, III. — Volcans de boue; gisements de pétrole en Crimée, par Ansted, III. — Éruption du Vésuve, par Palmieri et Mauget, V. — Éruption d'une île volcanique, par Fouqué, III. — Éruptions sous-marines des Açores, par Fouqué, V. —Le tremblement de terre d'août 1868 dans la Sud-Amérique, par Cl. Gay, VI.

*Histoire.* — Histoire de la géologie, par Ed. Hébert, II. — Histoire de la minéralogie, par Daubrée, II. — Les questions récentes en géologie, par Ch. Lyell, I.

## PALÉONTOLOGIE

Développement chronologique et progressif des êtres organisés, par d'Archiac, V. — La faune quaternaire, cours par d'Archiac, I. — La caverne de Kent, par Pengelly, III. — La théorie de l'évolution et la détermination des terrains; les migrations animales aux époques géologiques, par A. Gaudry, VII. — Les organismes microscopiques en géologie, par Delbos, V. — Un morceau de craie, par Th. H. Huxley, V.

*Histoire.* — Histoire de la paléontologie, par A. Gaudry, VI. — La paléontologie de 1862 à 1870; la doctrine de l'évolution, par Th. H. Huxley, VII.

## BOTANIQUE

*Anatomie. Physiologie.* — Organographie végétale, cours par Chatin, I et II. — Développement des végétaux, racines, par Baillon, I.—Respiration des plantes aquatiques, par Van Tieghem, V. — Action de la vapeur de mercure sur les plantes, par Boussingault, IV. — Tendances des végétaux ; action de la chaleur sur les plantes, par Duchartre, VI. — Végétation du printemps, par Lecoq, II. — Végétation pyrénéenne, par Jaubert, V.

*L'individu. L'espèce.* — L'individualité dans la nature au point de vue du règne végétal, par Nægeli, II. — Métissage et hybridation chez les végétaux, par de Quatrefages, VI. — La primevère de Chine et ses variations par la culture, par E. Faivre, VI.

*Cryptogames.* — Reproduction chez les cryptogames, par Brongniart, V.—Les algues, par Brongniart, V.—Les champignons, par Tulasne, V. — Champignons, cours par A. Brongniart, VI.

*Paléontologie végétale.* — Les flores de l'ancien monde, d'après les travaux de Schimper, par Ch. Grad, VII. — La végétation primitive, par J. Dawson, VII.—La végétation à l'époque houillère, par Bureau, IV. — Les forêts cryptogamiques de la période houillère, par W. Carruthers, VII.

*Histoire. Bibliographie.*—Les travaux botaniques de 1866 à 1870, par G. Bentham, VII.—Congrès international de Paris en 1867, par E. Fournier, IV. — Histoire des plantes de Baillon, VII.— Paléontologie végétale de Schimper, par A. Brongniart, VII.

## AGRICULTURE

*Chimie agricole.* — Géologie et chimie agricoles, cours par Boussingault, I et III. — Physique végétale, cours par Georges Ville, II et III. — L'agriculture et la chimie, par Isid. Pierre, V. — La production végétale, assimilation par les plantes de leurs éléments constitutifs; les engrais chimiques et le fumier, cours par G. Ville, V. — Assimilation des éléments qui composent les plantes, par Isid. Pierre, VI.

*Économie et génie agricoles.* — Situation actuelle (1866) de l'agriculture, par Barral, III — La crise agricole, par G. Ville, III. — L'agriculture par la science et par le crédit, par G. Ville, VI. — Travaux agricoles en France, par Hervé Mangon, I.

*Céréales.* — Verse des céréales par Isid. Pierre, VI. — Les parasites des céréales; l'ergot du seigle, par E. Fournier, VII.

*Cultures spéciales.* — Rapports de la botanique et de l'horticulture par A. de Candolle, III. — La sériciculture dans l'Inde, par Simmonds, VI.

## ZOOLOGIE

*Origine de a vie. Génération spontanée.* — Origine des êtres organisés, par A. Müller, IV. — Les générations spontanées, par Milne Edwards, I; — par Coste, I; — par Pasteur, I; — par Pouchet, I; — par N. Joly, II. — Le rapport à l'Académie sur les générations spontanées, II.

*Origine des espèces.* — Théorie de l'espèce en géologie et en botanique, avec ses applications à l'espèce et aux races humaines, cours par de Quatrefages, V et VI. — Le transformisme, par Broca, VII. — Division des êtres organisés en espèces, par A. Müller, IV. — Métissage et hybridation, par de Quatrefages, VI. — Influence des milieux sur la variabilité des espèces, par Faivre, V.— La théorie de l'évolution; animaux intermédiaires entre les oiseaux et les reptiles, par Th. H. Huxley, V. — Ch. Darwin à l'Académie des sciences de Paris, VII. — Les travaux de Ch. Darwin, par H. Milne Edwards, VII. — L'origine des espèces, par A. R. Wallace, VII. — Voyez ANTHROPOLOGIE.

*Zoologie biologique.* — Point de vue biologique dans l'étude des êtres vivants, par A. Moreau, III. — Les animaux inférieurs; la physiologie générale et le principe vital, par P. Bert, VI. — Le commensalisme dans le règne animal, par P. J. van Beneden, VII. — La vie animale dans les profondeurs de la mer, par W. B. Carpenter, VI et VII.—Le fond de l'Atlantique, faune et conditions biologiques, par L. Agassiz, VII.

*Morphologie générale.* — Principes rationnels de la classification zoologique; les espèces; ordre d'apparition des caractères zoologiques pendant la vie embryonnaire, par L. Agassiz, VI. — Rapports fondamentaux des animaux entre eux et avec le monde ambiant, au point de vue de leur origine, de leur distribution géographique et de la base du système naturel en

**ANTHROPOLOGIE**

## ANATOMIE — HISTOLOGIE

*Histoire.* — Histoire de l'anatomie, par P. Gervais, VI. — L'école anatomique française, par G. Pouchet, IV.
Microscope et autres moyens d'étude en anatomie générale; caractères organiques des tissus; ce qu'on doit entendre par *organisation* dans l'état actuel de la science, par Ch. Robin, I. — Histologie, programme du cours de Ch. Robin, I et II. — Principes généraux d'histologie, par Ch. Robin, V.
Conditions anatomiques des actions réflexes, par Chéron, V. — Structure du cylindre-axe et des cellules nerveuses, par Grandry, V. — Rapports du système grand sympathique avec les capillaires, par G. Pouchet, III.
Appropriation des parties de l'organisme à des fonctions déterminées. — L'anatomie générale et ses applications à la médecine, par Ch. Robin, VII.
*Anatomie pathologique.* — L'anatomie pathologique, par Vulpian, VII. — L'anatomie pathologique, par Laboulbène, III.

## PHYSIOLOGIE

*Théorie de la vie.* — Conception mécanique de la vie. Atome et individu, par Virchow, III. — La physique de la cellule dans ses rapports avec les principes généraux de l'histoire naturelle, par Wundt, V. — L'irritabilité, cours par Cl. Bernard, I. — La science de la vie, par W. Kühne, VII. — Unité de la vie. Limites de la nature humaine, par Moleschott, I. — La causalité en biologie, par Moleschott, II. — La base physique de la vie, par Th. H. Huxley, VI.
*Méthode en physiologie.* — La méthode en physiologie, par Moleschott, I. — L'expérimentation et la critique expérimentale dans les sciences de la vie, par Cl. Bernard, VI. — L'observation anatomique et l'expérimentation physiologique, par P. Bert, VI. — L'art d'expérimenter et les laboratoires. Les moyens contentifs physiologiques, cours par Cl. Bernard, VI. — L'observation et l'expérimentation en physiologie, par Coste et Cl. Bernard, V. — Voyez Organisation scientifique.
*Physiologie générale.* — Deux cours, par Cl. Bernard, I, II et III. — Les animaux inférieurs, la physiologie générale et le principe vital, par P. Bert, VI. — Physiologie et zoologie, par P. Bert, VII. — Organisation et connexions organiques, par Cl. Bernard, V. — Voyez Médecine (*Médecine expérimentale*).
Vie et lumière, par Moleschott et par Büchner, II. — Différences physiologiques et intellectuelles des deux sexes, VI. — Des forces en tension et des forces vives dans l'organisme animal, par Onimus, VII. — Voyez Zoologie biologique.
*Le cerveau.* — Les centres nerveux; travaux de Flourens, par Cl. Bernard, VI. — Vitesse des actes cérébraux, par Marey, VI. — Vitesse de la transmission de la sensation et de la volonté à travers les nerfs, par E. du Bois-Reymond, IV. — Activité

inconsciente du cerveau, par Carpenter, V. — Relation entre l'activité cérébrale et la composition des urines, par Byasson, V. — Ablation du cerveau chez les pigeons, par Voit, VI. — Les alcaloïdes de l'opium, cours par Cl. Bernard, VI.

*Les sens.* — Théorie de la vision, cours par H. Helmholtz, VI. — L'œil, par Mansart, IV. — La vision binoculaire, par Giraud-Teulon, V. — Fonction collective des deux organes de l'ouïe, par Plateau, V.

*Le système nerveux.* — L'élément nerveux et ses fonctions; les actions réflexes, cours par Cl. Bernard, I et II. — Le système nerveux, par P. Bert, III. — Fonctions du système nerveux, cours par Vulpian, I et II. — Origine de l'électrotone des nerfs, par Matteucci, V. — L'électrophysiologie, cours par Matteucci, V. — Les anesthésiques, cours par Cl. Bernard, VI. — Les actions nerveuses sympathiques, par P. Bert, VII. — Centre d'innervation du sphincter de la vessie, par Massius, V. — Le curare, cours par Cl. Bernard, II et VI.

*Le système musculaire.* — L'élément contractile et ses fonctions, cours par Cl. Bernard. I. — Production du mouvement chez les animaux, par Marey, IV. — Méthode graphique en biologie; mouvement dans les fonctions de la vie; deux cours par Marey, III et IV. — Le vol chez les insectes, cours par Marey, VI. — Le vol chez les oiseaux, cours par Marey, VI et VII. — Les mouvements involontaires chez les animaux, cours par Michaël Foster, VI. — Sources chimiques de la force musculaire, par E. Frankland, IV.

*Le cœur.* — Le cœur et ses rapports avec le cerveau, par Cl. Bernard, II. — L'innervation du cœur, par Cl. Bernard, V.

*Le sang, la circulation et la respiration.* — Les propriétés du sang, cours par Cl. Bernard, II.—Le sang étudié au moyen de l'oxyde de carbone; l'asphyxie, cours par Cl. Bernard, VII. — La vie du sang, par Virchow, III. — Une ambassade physiologique, par Moleschott, IV. — La respiration, par P. Bert, V. — Physiologie du mal des montagnes, par Lortet, VII. — Circulation chimique dans les corps vivants. Passage de divers sels dans les tissus, par Bence Jones, VI.

*La digestion et les sécrétions.* — Physiologie comparée de la digestion, cours par Vulpian, III et IV. — Les liquides de l'organisme, sécrétions internes et externes, excrétions, cours par Cl. Bernard, III. — Théorie des peptones et absorption des substances albuminoïdes, par E. Brücke, VI. — Rôle de la cholestérine dans l'organisme, travaux d'Austin Flint, par St. Laugier. — Recherches de Gréhant sur l'excrétion de l'urée, par F. Terrier, VII. — La déglutition, par Cl. Bernard, V.

*Embryogénie.*—Embryogénie comparée, cours par Coste, I et II.— Histoire d'un œuf, par Vaillant, VI.— Structure et formation de l'œuf chez les animaux, par Ed. van Beneden et Gluge, VI. — L'œuf et la théorie cellulaire, par Schwann, VI. — L'ovaire et l'œuf, travaux récents, par Ed. Claparède, VII. — Origine et

mode de formation des monstres omphalosites, par Dareste, II. — Génération des éléments anatomiques, par Ch. Robin, IV.

## MÉDECINE

*Philosophie médicale.*—Matérialisme et spiritualisme en médecine, par Hiffelsheim, II. — Maladie dans le plan de la création, par Cotting, III. — Erreurs vulgaires au sujet de la médecine, par Jeannel, III. — Physiologie base de la médecine, par Moleschot, III.—Les systèmes et la routine en médecine, par Axenfeld, V. — La médecine d'observation et la médecine expérimentale, par Cl. Bernard, VI. — L'évolution de la médecine scientifique, par Cl. Bernard, VII.

*Pathologie générale.*— Qu'est-ce que la maladie? État actuel de la pathologie, par Virchow, VII. — La médecine de nos jours, par W. Acland, V. — La médecine clinique contemporaine, par W. Gall, V. — L'avenir de la médecine, par Béclard, V.— Poussières et maladies, par J. Tyndall, VII. — Pathologie générale, par Chauffard, I; — et par Lasègue, II.— La médecine scientifique; la méthode graphique appliquée à l'étude clinique des maladies, par Lorain, VII. — Progrès récents en pathologie, par R. Wirchow, V.

*Médecine expérimentale.*—Le curare considéré comme moyen d'investigation biologique, cours par Cl. Bernard, II. — Histoire des agents anesthésiques et des alcaloïdes de l'opium, cours par Cl. Bernard, VI. — L'oxyde de carbone, cours par Cl. Bernard, VII. — Le sang dans l'empoisonnement par l'acide prussique, par Büchner, VI.

*Thérapeutique.* — Thérapeutique, par Trousseau, II. — Passé et avenir de la thérapeutique; l'observation clinique et l'expérimentation physiologique, par Gubler, VI. — L'électrothérapeutique, par Becquerel, IV et VII. — Courant constant appliqué au traitement des névroses, cours par Remak, II. — Eaux sulfureuses des Pyrénées, par Filhol, VI.

*Pathologie spéciale.* — L'alimentation et les anémies, cours par G. Sée, III. — La glycogénie et la glycosurie, par Bouchardat, VI. — La fièvre, par Virchow, VI. — Causes des fièvres intermittentes et rémittentes, par J. A. Salisbury, VI. — La vaccine, par Brouardel, VII.—La variole à Paris et à Londres, par Bouchardat, VII. — La rage, par Bouley, VII.—Le choléra à la Guadeloupe chez les diverses races, par de Quatrefages, VI. — La mortalité des femmes en couches, par Lorain, VII. — Maladies mentales, par Lasègue, II. — Gheel; aliénés vivant en famille, par J. Duval, V.

*Chirurgie.* — Occlusion pneumatique des plaies, par J. Guérin, V. — Les germes atmosphériques et l'action de l'air sur les plaies, par J. Tyndall, VII. — Nature et physiologie des tumeurs, par Virchow, III. — Régénération des os; coloration des tissus par le régime garancé, par Joly, IV. — Bégayement dans d'autres organes que ceux de la parole, par J. Paget, VI.

*Ophthalmologie*. — Congrès international ophthalmologique de Paris en 1867, par Giraud-Teulon, IV. — Les travaux de von Graefe, par Giraud-Teulon, VII. — Myopie au point de vue militaire, par Giraud-Teulon, VII. — Voyez PHYSIOLOGIE (*Sens*).

*Hygiène*. — Hygiène, par Bouchardat, I. — Hygiène et physiologie, par H. Favre, I. — L'hygiène publique en Allemagne, par Pettenkofer, V. — Voyez SIÉGE DE PARIS EN 1870-1871.

Influence de la civilisation sur la santé, par J. Bridges, VI. — La mortalité des nourrissons, par Bouchardat, VII. — Les eaux de Londres, par E. Frankland, V et VI.

La fécondité des mariages et les doctrines de Malthus, par Broca, V. — Le blé dans ses rapports avec la mortalité, le nombre des mariages et des naissances, les famines, par Bouchardat, V.

*Les hôpitaux*. — Les hôpitaux et les lazarets, par Virchow, VI. — L'assistance publique à Paris, par Lorain, VII.

*Histoire de la médecine*. — Histoire de la médecine, par Daremberg, II. — La médecine dans l'antiquité et au moyen âge, par Daremberg, III et IV. — La médecine du XV^e au XVII^e siècle, par Daremberg, V. — Histoire des doctrines médicales, par Bouchut, I. — Guy de Chauliac, par Follin, II. — Harvey, par Béclard, II. — L'école de Halle, Fréd. Hoffmann et Stahl, par Lasègue, II. — Barthez et le vitalisme, par Bouchut, I. — Les chirurgiens érudits: Antoine-Louis, par Verneuil, II.

## MÉCANIQUE

Les forces motrices, par A. Cazin, VII. — Transmission du travail dans les machines; palier glissant de Girard; machine à gaz de Hugon; machine à air chaud de Laubereau, par Haton de la Goupillère, IV. — Histoire des machines à vapeur, par Haton de la Goupillère, III. — La marche à contre-vapeur des machines locomotives, VII.

## SCIENCES INDUSTRIELLES

*Chemins de fer. Canaux*. — Histoire des chemins de fer : le pont du Rhin, le percement du mont Cenis, par Perdonnet, I. — Le percement du mont Cenis, par A. Cazin, VII. — Le chemin de fer de l'Atlantique au Pacifique, par W. Heine, IV. — Le tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, par Bateman, VII. — Travaux du canal de Suez, par Borel, IV.

*Télégraphie électrique*. — La télégraphie électrique, par Fernet, V. — Le télégraphe transatlantique, câble, appareils électriques, transmission des courants, par Varley et W. Thomson, V. — Pose des câbles sous-marins, par Fleeming-Jenkin, VI.

*Fer*. — Le fer à l'Exposition de 1867, par L. Simonin, IV.

*Mines*. — La houille et les houilleurs, par L. Simonin, IV. — Épuisement probable des houillères d'Angleterre, par Stanley Jevons, V. — Placers de la Californie, par L. Simonin, IV.

*Arts.* — Physique appliquée aux arts, cours par Ed. Becquerel, I. — Photographie, par Fernet, II. — Cristallisations salines, application à l'impression sur tissus, par Ed. Gand, V.
*Chimie* appliquée aux arts, cours par Péligot, I. — La teinture, par de Luynes, III. — Matières colorantes récentes; ammoniaques composées, par W. H. Perkins, VI.
*Industries chimiques.* — Chimie appliquée à l'industrie, cours par Payen, I. — L'éclairage au gaz, par Payen, II. — Le verre, par de Luynes, IV. — Le guide du verrier. Le conseil de prud'hommes, par Bienaymé, VII.

## SCIENCES MILITAIRES

*Stratégie. Fortifications.* — Les nouvelles armes de précision; avantage de la défense sur l'attaque; les fortifications de campagne; attaques des côtes fortifiées, par H. Shaw, VII. — Fortifications des côtes de l'Angleterre, par F. D. Jervois, VI.
*Artillerie ; armes.* — Système Moncrieff pour les batteries d'artillerie côtière, par Moncrieff, VI. — L'artillerie prussienne, VII. — Les fusils se chargeant par la culasse, par Majendie, IV.
*Marine.* — Les navires cuirassés, par E. J. Reed, VII. — Nouvelles machines à vapeur de la marine militaire française, par Dupuy de Lôme, IV. — Applications de l'électricité à la marine et à la guerre, par Abel, VI.
*Soldats.* — Validité militaire de la population française, par Broca, IV. — L'ethnologie de la France au point de vue des infirmités militaires, par Broca, VII. — La myopie au point de vue militaire, par Giraud-Teulon.
*Poudre.* — La poudre à canon; nouvelles substances pour la remplacer, par Abel, III. — Le picrate de potasse et les poudres fulminantes, par G. Tissandier, VI. — Force de la poudre et des matières explosibles, par Berthelot, VII.
*Chirurgie militaire.* — Ambulances et hôpitaux des armées en campagne, par Champouillon, VII. — Les plaies par armes à feu, par Nélaton, VII. — Amputations, suite des blessures par armes de guerre, par Sédillot, VII. — La mortalité militaire pendant la campagne d'Italie en 1859, par Bienaymé, VI. — Premiers soins à donner aux blessés, par Verneuil, VII.

## SIÉGE DE PARIS EN 1870-1871

*Alimentation.* — Le régime alimentaire pendant le siége, par G. Sée, VII. — Conseils sur la manière de se nourrir pendant le siége, par A. Riche, VII. — Des moyens d'employer pendant le siége nos ressources alimentaires, par Bouchardat, VII.
*Hygiène. Médecine.* — Des maladies qui peuvent se développer dans une ville assiégée, par Béhier, VII. — L'hygiène de Paris pendant le siége, par Bouchardat, VII. — L'état sanitaire de Paris pendant le siége, par Bouchardat, VII. — Premiers soins à donner aux blessés, par A. Verneuil, VII.

## HISTOIRE DES SCIENCES

*Antiquité. Moyen âge.* — État arriéré des sciences chez les anciens, par von Littrow, VII. — L'état naissant des sciences au moyen âge, par H. Kopp, VII.

*Renaissance.* — Revue générale du développement des sciences dans les temps modernes, par H. Helmholtz, VII. — La médecine du XV^e au XVII^e siècle, par Daremberg, V. — Harvey, par Béclard, II. — Travaux de la vieillesse de Galilée ; Galilée et Babiani, par Philarète Chasles, VI.

*XVII^e siècle.* — Correspondance de Galilée, de Pascal et de Newton sur l'attraction universelle, etc., par MM. Chasles, Faugère, Le Verrier, Duhamel, David Brewster, R. Grant, IV et VI. — Newton, par J. Bertrand, II. — Les idées de Newton sur l'affinité, par Dumas, V.

*XVIII^e siècle.* — Clairault et la mesure de la terre, par J. Bertrand, III. — Voltaire physicien, par E. du Bois-Reymond, V. — Franklin, par H. Favre, I. — Scheele, par Troost, III. — Génie scientifique de la Révolution, par H. Favre, I.—Antoine Louis, par A. Verneuil, II. — Les œuvres de Lavoisier, par Dumas, V. — Barthez, par Bouchut, I.

*XIX^e siècle.* — Gœthe naturaliste, par H. Helmholtz, VII. — Lamarck, de Blainville et Valenciennes, par Lacaze-Duthiers, III. — A. de Humboldt par L. Agassiz, VII. — Puissant, par Élie de Beaumont, VI. — Dutrochet, par Coste, III. — Gratiolet, par P. Bert, III. — Poncelet, par Ch. Dupin, V. — Faraday, par Dumas, V. — E. Verdet, par Levistal, IV. — Flourens, par Cl. Bernard et Patin, VI. — Boucher (de Perthes), par Dally, VI. — Purkynié, par L. Léger, VII. — Pelouze, par Cahours, V. — et par Dumas, VII. — Foucault, par Lissajous, VI. — Th. Graham, par Williamson et Hoffmann, VII. — Cl. Bernard, par Patin, VI. — Michaël Sars, par E. Blanchard, VII. — Von Graefe, par Giraud-Teulon, VII.

## HISTOIRE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

Le rôle des sociétés savantes, par Fotherby, VII.

La première Académie des sciences de Paris (de 1666 à 1699), par J. Bertrand, V. — L'ancienne Académie des sciences de 1789 à 1793, par J. Bertrand, IV. — Le Congrès des sociétés savantes de France en 1867, IV. — Les travaux scientifiques des départements en 1868 et en 1869, par E. Blanchard, V, VI et VII. — La Société des amis des sciences, par Boudet, V, VI.

Association Britannique, session de Dundee en 1867, par W. de Fonvielle, V. — La science britannique en 1868, discours inauguraux, par J. D. Hooker et Sabine, V. — Congrès médical d'Oxford en 1868, par Lorain, VI. — La Société royale d'Édimbourg de 1783 à 1811, par Christison, VI. — Histoire de la Société Huntérienne de Londres, par Fotherby, VII.

Les congrès scientifiques en Allemagne et en Angleterre; le congrès d'Innsbrück, par Arch. Geikie, VII.

# BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE
# INTERNATIONALE

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais et en allemand, à Paris, à Londres, à New-York et à Leipzig.

Elle réunit des ouvrages dus aux savants les plus distingués de tous les pays.

La valeur scientifique des livres qui la composent est assurée par la formation dans chaque pays d'un comité d'hommes de science qui en a la direction exclusive.

Enfin, malgré le caractère scientifique très-élevé de cette collection, elle sera toujours rédigée de manière à rester accessible aux gens du monde et à tous les esprits cultivés.

La *Bibliothèque scientifique internationale* est conçue dans le même esprit que la *Revue scientifique ;* elle la complète en quelque sorte sous une nouvelle forme.

Voici la liste des principaux ouvrages qui sont en préparation :

## AUTEURS FRANÇAIS

CLAUDE BERNARD. Phénomènes physiques et Phénomènes métaphysiques de la vie.
HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE. Introduction à la chimie générale.
ÉMILE ALGLAVE. Physiologie générale des constitutions.
A. DE QUATREFAGES. Les races nègres.
A. WURTZ. Atomes et atomicité.
BERTHELOT. La synthèse chimique.
H. DE LACAZE-DUTHIERS. La zoologie depuis Cuvier.
FRIEDEL. Les fonctions en chimie organique.
MAREY. La machine animale.
TAINE. Les Émotions et la Volonté.
QUETELET. La moyenne de l'humanité.
VAN BENEDEN. Les commensaux et les parasites dans le règne animal.
ALFRED GRANDIDIER. Madagascar.
DEBRAY. Les métaux précieux.

## AUTEURS ANGLAIS

HUXLEY. Mouvement et conscience.
HERBERT SPENCER. Les sciences sociales.
J. TYNDALL. Les transformations de l'eau.
W. B. CARPENTER. La physiologie de l'esprit.
W. BAGEHOT. Sciences et politique.
RAMSAY. Sculpture de la terre.
SIR J. LUBBOCK. Premiers âges de l'humanité.
BAIN. L'esprit et le corps.
BALFOUR STEWART. La conservation de la force.
CHARLTON BASTIAN. Le cerveau comme organe de la pensée.
NORMAN LOCKYER. L'analyse spectrale.
W. ODLING. La chimie nouvelle.
LAWDER LINDSAY. L'intelligence chez les animaux inférieurs.
STANLEY JEVONS. Les lois de la statistique.
MICHAEL FOSTER. Protoplasma et physiologie cellulaire.
MAUDSLEY. La responsabilité dans les maladies.
ED. SMITH. Aliments et alimentation.
PETTIGREW. Marche, natation et vol.
K. CLIFFORD. Les fondements des sciences exactes.

## AUTEURS ALLEMANDS

VIRCHOW. Physiologie pathologique.
ROSENTHAL. Physiologie générale des muscles et des nerfs.
BERNSTEIN. Physiologie des sens.
HERMANN. Physiologie de la respiration.
O. LIEBREICH. Fondements de la toxicologie.
STEINTHAL. Fondements de la linguistique.
VOGEL. Chimie de la lumière.

## AUTEURS AMÉRICAINS

J. DANA. L'échelle et les progrès de la vie.
S. W. JOHNSON. La nutrition des plantes.
AUSTIN FLINT. Les fonctions du système nerveux.
W. D. WHITNEY. La linguistique moderne.

### *Sous presse pour paraître très-prochainement :*

J. TYNDALL. Les transformations de l'eau.
MAREY. Machine animale.
BAGEHOT. Sciences et politique.
ED. SMITH. Aliments et alimentation.

# RÉCENTES PUBLICATIONS

## HISTORIQUES ET PHILOSOPHIQUES

**Qui ne se trouvent pas dans les deux Bibliothèques.**

ACOLLAS (Emile). **L'enfant né hors mariage.** 3e édition. 1872, 1 vol. in-18 de x-165 pages. 3 fr.

ACOLLAS (Emile). **Manuel de droit civil,** contenant l'exégèse du code Napoléon et un exposé complet des systèmes juridiques.

Tome premier (premier examen), 1 vol. In-8. 10 fr.
Tome deuxième (deuxième examen), 1 vol. in-8. 10 fr.
Tome troisième (troisième examen), première partie. 1 vol. in-8. 5 fr.

ACOLLAS (Émile). **Trois leçons sur le mariage.** In-8. 1 fr. 50

ACOLLAS (Émile). **L'idée du droit.** In-8. 1 fr. 50

ACOLLAS (Émile). **Nécessité de refondre l'ensemble de nos codes,** et notamment le code Napoléon au point de vue de l'idée démocratique. 1866, 1 vol. in-8. 3 fr.

ALAUX. **La religion progressive.** 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

ALGLAVE (Émile). **Action du ministère public** et théorie des droits d'ordre public en matière civile. 1872, 2 beaux vol. gr. in-8. 16 fr.

'LAVE (Émile). **Organisation des juridictions civiles** **ez les Romains** jusqu'à l'introduction des *Judicia extraordinaria*. 1 vol. in-8. 2 fr. 50

**L'Art et la vie.** 1867. 2 vol. in-8. 7 fr.

**L'Art et la vie de Stendhal.** 1869, 1 fort vol. in-8. 6 fr.

BARNI (Jules). **Napoléon Ier,** édition populaire. 1 vol. in-18. 1 fr.

BARNI (Jules). **Manuel républicain.** 1872, 1 vol. in-18. 1 fr. 50

BARNI (Jules). **Les martyrs de la libre pensée,** cours professé à Genève. 1862, 1 vol in-18. 3 fr. 50

BARNI (Jules). Voy. KANT.

BLANCHARD. **Les métamorphoses, les mœurs et les instincts des insectes,** par M. Emile Blanchard, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magnifique volume in-8 jésus avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte, prix broché. 30 fr.
Relié en demi-maroquin. 35 fr.

BLANQUI. **L'Éternité par les astres,** hypothèse astronomique. 1872, in-8. 2 fr.

BORELY (J.). **Nouveau système électoral, représentation proportionnelle de la majorité et des minorités.** 1870, 1 vol. in-18 de XVIII-194 pages. 2 fr. 50

BORELY. **De la justice et des juges,** projet de réforme judiciaire. 1871, 2 vol. in-8. 12 fr.

BOUCHARDAT. **Le travail,** son influence sur la santé (conférences faites aux ouvriers). 1863, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BOUCHARDAT et H. JUNOD. **L'eau-de-vie et ses dangers**, conférences populaires. 1 vol. in-8. 1 fr.

BARTHEZ. **Nouveaux éléments de la science de l'homme**, par P. J. Barthez, médecin de S. M. Napoléon Ier. 3e édition, augmentée du Discours sur le génie d'Hippocrate, de Mémoires sur les fluxions et les coliques iliaques, sur la thérapeutique des maladies, sur l'évanouissement, l'extispice, la fascination, le faune, la femme, la force des animaux; collationnée et revue par M. E. Barthez, médecin de S. A. le Prince impérial et de l'hôpital Sainte-Eugénie, etc. 1858, 2 vol. in-8 de 1010 p. 6 fr.

ÉD. BOURLOTON et E. ROBERT. **La Commune** et ses idées à travers l'histoire. 1872, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales**. 1873, 2 forts vol. in-8. 16 fr.

BOUCHUT et DESPRÉS. **Dictionnaire de Médecine et de Thérapeutique médicale et chirurgicale**, comprenant le résumé de la médecine et de la chirurgie, les indications thérapeutiques de chaque maladie, la médecine opératoire, les accouchements, l'oculistique, l'odontechnie, l'électrisation, la matière médicale, les eaux minérales, et *un formulaire spécial pour chaque maladie*. 1873. 2e édit. très-augmentée, 1 magnifique vol. in-4, avec 750 fig. dans le texte. 25 fr.

BOUILLET (ADOLPHE). **L'armée d'Henri V. — Les Bourgeois gentilshommes de 1871**. 1 vol. in-12. 3 fr. 50

BOUILLET (ADOLPHE). **L'armée d'Henri V. — Les Bourgeois gentilshommes.** Types nouveaux et inédits. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

BRIERRE DE BOISMONT. **Des maladies mentales.** 1867, brochure in-8 extraite de la *Pathologie médicale* du professeur Requin. 2 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Des hallucinations, ou Histoire raisonnée des apparitions**, des visions, des songes, de l'extase, du magnétisme et du somnambulisme. 1862, 3e édition très-augmentée. 7 fr.

BRIERRE DE BOISMONT. **Du suicide et de la folie suicide.** 1865, 2e édition, 1 vol. in-8. 7 fr.

CHASLES (PHILARÈTE). **Questions du temps et problèmes d'autrefois.** Pensées sur l'histoire, la vie sociale, la littérature. 1 vol. in-18, édition de luxe. 3 fr.

**Conférences historiques de la Faculté de médecine** faites pendant l'année 1865. (*Les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil. — *Gui de Chauliac*, par M. Follin. — *Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Rioland*, par M. Le Fort. — *Levret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier et les Sorciers*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parrot.) 1 vol. in-8. 6 fr.

COQUEREL (Charles). **Lettres d'un marin à sa famille.** 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

COQUEREL (Athanase). Voyez *Bibliothèque de philosophie contemporaine.*

COQUEREL fils (Athanase). **Libres études** (religion, critique, histoire, beaux-arts). 1867, 1 vol. in-8. 5 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **Pourquoi la France n'est-elle pas protestante?** Discours prononcé à Neuilly, le 1er novembre 1866. 2e édition, in-8. 1 fr.

COQUEREL fils (Athanase). **La charité sans peur**, sermon en faveur des victimes des inondations, prêché à Paris le 18 novembre 1866, in-8. 75 c.

COQUEREL fils (Athanase). **Évangile et liberté**, discours d'ouverture des prédications protestantes libérales, prononcé le 8 avril 1868, in-8. 50 c.

COQUEREL fils (Athanase). **De l'éducation des filles**, réponse à Mgr. l'évêque d'Orléans, discours prononcé le 3 mai 1868, in-8. 50 c.

CORNIL. **Leçons élémentaires d'hygiène**, rédigées pour l'enseignement des lycées d'après le programme de l'Académie de médecine. 1873, 1 vol. in-18 avec figures intercalées dans le texte. 2 fr. 50

Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Histoire gouvernementale de l'Angleterre de 1770 jusqu'à 1830,** trad. de l'anglais et précédée de la vie de l'auteur, par M. Mervoyer. 1867, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine.* 7 fr.

Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Quelle est la meilleure forme de gouvernement?** Ouvrage traduit de l'anglais; précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Mervoyer, docteur ès lettres. 1867, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

DELAVILLE. **Cours pratique d'arboriculture fruitière** pour la région du nord de la France, avec 269 fig. In-8. 6 fr.

DELEUZE. **Instruction pratique sur le magnétisme animal,** précédée d'une Notice sur la vie de l'auteur. 1853. 1 vol. in-12. 3 fr. 50

DELORD (Taxile). **Histoire du second empire. 1848-1870.**
1869. Tome Ier, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
1870. Tome II, 1 fort vol. in-8. 7 fr.
1873. Tome III, 1 fort vol. in-8. 7 fr.

DOLLFUS (Charles). **De la nature humaine**. 1868, 1 vol. in-8. 5 fr.

DOLLFUS (Charles). **Lettres philosophiques**, 3e édition. 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DOLLFUS (Charles). **Considérations sur l'histoire**. Le monde antique. 1872, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

DU POTET. **Manuel de l'étudiant magnétiseur**, nouvelle édition. 1868, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DU POTET. **Traité complet de magnétisme**, cours en douze leçons. 1856, 3e édition, 1 vol. de 634 pages. 7 fr.

**Éléments de science sociale**. Religion physique, sexuelle et naturelle, ouvrage traduit sur la 7e édition anglaise. 1 fort vol. in-18, cartonné. 4 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Dogme et rituel de la haute magie.** 1861, 2e édit., 2 vol. in-8, avec 24 fig. 18 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **Histoire de la magie,** avec une exposition claire et précise de ses procédés, de ses rites et de ses mystères. 1860, 1 vol. in-8, avec 90 fig. 12 fr.

ÉLIPHAS LÉVI. **La Science des esprits,** révélation du dogme secret des Kabbalistes, esprit occulte de l'Évangile, appréciation des doctrines et des phénomènes spirites. 1865, 1 v. in-8. 7 fr.

FAU. **Anatomie des formes du corps humain,** à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 et atlas de 25 planches. 2e édition. Prix, fig. noires. 20 fr.
Prix, figures coloriées. 35 fr.

FERRON (de). **Théorie du progrès** (Histoire de l'idée du progrès. — Vico. — Herder. — Turgot. — Condorcet. — Saint-Simon. — Réfutation du césarisme). 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.

FERRON (de). **La question des deux chambres.** 1872, in-8 de 45 pages. 1 fr.

ÉM. FERRIÈRE. **Le Darwinisme.** 1872, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

FRIBOURT. **Du paupérisme parisien,** des progrès depuis vingt-cinq ans. 1 fr. 25

HUMBOLDT (G. de). **Essai sur les limites de l'action de l'État,** traduit de l'allemand, et précédé d'une Etude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Chrétien, docteur en droit. 1867, in-18. 3 fr. 50

ISSAURAT. **Moments perdus de Pierre Jean,** observations, pensées, rêveries, antipolitiques, antimorales, antiphilosophiques, antimétaphysique, anti tout ce qu'on voudra. 1868, 1 vol. in-18. 3 fr.

ISSAURAT. **Les alarmes d'un père de famille,** suscitées, expliquées, justifiées et confirmées par lesdits faits et gestes de Mgr. Dupanloup et autres. 1868, in-8. 1 fr.

KANT. **Critique de la raison pure,** précédé d'une préface par M. Jules BARNI. 1870, 2 vol. in-8. 16 fr.

KANT. **Eléments métaphysiques de la doctrine du droit,** suivis d'un Essai philosophique sur la paix perpétuelle, traduits de l'allemand par M. Jules BARNI. 1854, 1 vol. in-8. 8 fr.

KANT. **Éléments métaphysiques de la doctrine de la vertu,** suivi d'un Traité de pédagogie, etc.; traduit de l'allemand par M. Jules BARNI, avec une introduction analytique. 1855, 1 vol. in-8. 8 fr.

LABORDE. **Les hommes et les actes de l'insurrection de Paris** devant la psychologie morbide. Lettre à M. le docteur Moreau (de Tours). 1 vol. in-18. 3 fr. 50

LACOMBE. **Mes droits.** 1869, 1 vol. in-12. 2 fr. 50

LANGLOIS. **L'homme et la Révolution.** Huit études dédiées à P. J. Proudhon. 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.

LE BERQUIER. **Le barreau moderne.** 1871, 2e édition, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les Sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8, avec fig. 10 fr.

LITTRÉ. **Auguste Comte et Stuart Mill**, suivi de *Stuart Mill et la philosophie positive*, par M. G. Wyrouboff. 1867, in-8 de 86 pages. 2 fr.

LORAIN (P.). **Jenner et la vaccine.** Conférence historique. 1870, broch. in-8 de 48 pages. 1 fr. 25

LORAIN (P.). **L'assistance publique.** 1871, in-4 de 56 pages. 1 fr.

LUBBOCK. **L'Homme avant l'histoire**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une Description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867, 1 beau vol. in-8, prix broché. 15 fr.

Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

LUBBOCK. **Les origines de la civilisation.** Etat primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes. 1873. 1 vol. grand in-8 avec figures et planches hors texte. Traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier. 15 fr.

Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

MARAIS (Aug.). **Garibaldi et l'armée des Vosges.** 1872. 1 vol. in-18. 1 fr. 50

MAX MULLER. **Amour allemand.** Traduit de l'allemand, 1 vol. in-18 imprimée en caractères elzéviriens. 3 fr. 50

MAZZINI. **Lettres à Daniel Stern** (1864-1872), avec une lettre autographiée, 1 vol. in 10 imprimé en caractères elzéviriens. 3 fr. 50

MENIÈRE. **Cicéron médecin**, étude médico-littéraire. 1862, 1 vol. in-18. 4 fr. 50

MENIÈRE. **Les Consultations de madame de Sévigné**, étude médico-littéraire. 1864, 1 vol. in-8. 3 fr.

MERVOYER. **Étude sur l'association des idées.** 1864, 1 vol. in-8. 6 fr.

MEUNIER (Victor). **La Science et les Savants.**

1re année, 1864. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2e année, 1865. 1er semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2e année, 1865. 2e semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
3e année, 1866. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
4e année, 1867. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

J. MICHELET. **Le Directoire et les origines des Bonaparte.** 1872, 1 vol. in-8. 6 fr.

MILSAND. **Les Études classique** et l'enseignement public. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

MILSAND. **Le code et la liberté.** Liberté du mariage, liberté des testaments. 1865, in-8. 2 fr.

MIRON. **De la séparation du temporel et du spirituel.** 1866, in-8. 3 fr.. 50

MORER. **Projet d'organisation de colléges cantonaux**, in-8 de 64 pages. 1 fr. 50

MORIN. **Du magnétisme et des sciences occultes.** 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.

MUNARET. **Le Médecin des villes et des campagnes.** 4e édition, 1862, 1 vol. grand in-18. 4 fr. 50

OGER. **Les Bonaparte** et les frontières de la France. In-18. 50 c.

OGER. **La République.** 1871, brochure in-8. 50 c.

PARIS (comte de). **Les Associations ouvrières en Angleterre** (Trades-Unions). 1869, 1 vol. gr. in-8. 2 fr. 50
Édition populaire. 1 vol. in-18. 1 fr.
Édition sur papier de Chine : broché. 12 fr.
reliure de luxe. 20 fr.

PILLON. **L'année philosophique.** Études critiques sur le mouvement des idées générales dans les divers ordres de connaissances, avec une introduction par M. Ch. Renouvier.
1re année, 1867. 1 vol. in-18. 5 fr.
2e année, 1868. 1 vol. in-18. 5 fr.

RENOUVIER et PILLON. **La critique philosophique**, politique, scientifique, littéraire. Journal hebdomadaire.
Prix : Un an. Paris. 17 fr.
— Départements. 18 fr.
— Étranger. 20 fr.

SIÈREBOIS. **Autopsie de l'âme.** Identité du matérialisme et du vrai spiritualisme. 2e édit. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

SIÈREBOIS. **La Morale** fouillée dans ses fondements. Essai d'anthropodicée. 1867, 1 vol. in-8. 6 fr.

SOREL (Albert). **Le traité de Paris du 20 novembre 1815.** Leçons professées à l'École libre des sciences politiques par M. Albert Sorel, professeur d'histoire diplomatique. 1873, 1 vol. in-8. 4 fr. 50

THÉVENIN. **Hygiène publique,** analyse du rapport général des travaux du conseil de salubrité de la Seine, de 1849 à 1858. 1863, 1 vol. in-18. 2 fr. 50

THULIÉ. **La folie et la loi.** 1867, 2e édit., 1 vol. in-8. 3 fr. 50

THULIÉ. **La manie raisonnante du docteur Campagne.** 1870, broch. in-8 de 132 pages. 2 fr.

VALETTE. **Cours de Code civil** professé à la Faculté de droit de Paris. Tome I, première année (Titre préliminaire — Livre premier). 1873, 1 fort vol. in-18. 8 fr.

VALMONT. **L'espion prussien.** 1872, roman traduit de l'anglais. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

VILLIAUMÉ. **La politique moderne,** traité complet de politique. 1873, 1 beau vol. in-8. 6 fr.

WEBER. **Histoire de la philosophie européenne.** 1871, 1 vol. in-8. 10 fr.

**L'armée d'Henri V. — Les bourgeois-gentilshommes de 1871.** 1 vol. in-18. 3 fr. 50

**Enquête parlementaire sur l'insurrection du 18 mars.**

Rapports. Rapport général de M. Martial Delpit. Rapports de MM. : *de Meaux* sur les mouvements insurrectionnels en province ; *de Massy*, sur le mouvement insurrectionnel à Marseille ; *Meplain*, sur le mouvement insurrectionnel à Toulouse ; *de Chamaillard*, sur les mouvements insurrectionnels à Bordeaux et à Tours ; *Delille*, sur le mouvement insurrectionnel à Limoges ; *Vacherot*, sur le rôle des municipalités ; *Ducarre*, sur le rôle de l'Internationale ; *Boreau-Lajanadie*, sur le rôle de la presse révolutionnaire à Paris ; *de Cumont*, sur le rôle de la presse révolutionnaire en province ; *de Saint-Pierre*, sur la garde nationale de Paris pendant l'insurrection ; *de Larochethulon*, sur l'armée et la garde nationale de Paris avant le 18 mars. — Rapports de MM. *les premiers présidents de Cour d'appel* d'Agen, d'Aix, d'Amiens, de Bordeaux, de Bourges, de Chambéry, de Douai, de Nancy, de Pau, de Rennes, de Riom, de Rouen, de Toulouse. — Rapports de MM. les *préfets* de l'Ardèche, des Ardennes, de l'Aude, du Gers, de l'Isère, de la Haute-Loire, du Loiret, de la Nièvre, du Nord, des Pyrénées-Orientales, de la Sarthe, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise, de la Seine-Inférieure, de Vaucluse. — Rapports de MM. les chefs de légion de gendarmerie.

Dépositions de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, général Trochu, J. Favre, Ernest Picard, J. Ferry, général Le Flô, général Vinoy, Choppin, Cresson, Leblond, Edmond Adam, Mettetal, Hervé, Bethmont, Ansart, Marseille, Claude, Lagrange, Macé, Nusse, Mouton, Garcin, colonel Lambert, colonel Gaillard, général Appert, Gerspach, Barral de Montaud, comte de Mun, Floquet, général Crémer, amiral Saisset, Schœlcher, Tirard, Dubail, Denormandie, Vautrain, François Favre, Bellaigue, Vacherot, Degouve-Denuncques, Desmarest, colonel Montaigu, colonel Ibos, général d'Aurelle de Paladines, Roger du Nord, Baudoin de Mortemart, Lavigne, Ossude, Ducros, Turquet, de Plœuc, amiral Pothuau, colonel Langlois, Ducuing, Danet, colonel Le Mains, colonel Vabre, Héligon, Tolain, Fribourg, Dunoyer, Testut, Corbon, Ducarre.

Pièces justificatives. Déposition de M. le général Ducrot. Procès-verbaux du Comité central, du Comité de salut public, de l'Internationale, de la délégation des vingt arrondissements, de l'Alliance républicaine, de la Commune. — Lettre du prince Czartoryski sur les Polonais. — Réclamations et errata.

Édition populaire. 1 vol. in-4 à 3 colonnes. 16 fr.

**Enquête parlementaire sur les actes du gouvernement de la défense nationale.**

Tome premier. — *Dépositions des témoins :* MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, maréchal Le Bœuf, Benedetti, duc de Grammont, de Talhouet, amiral Rigault de Genouilly, baron Jérome David, général de Palikao, Jules Brame, Clément Duvernois, Dréolle, Rouher, Piétri, Chevreau, général Trochu, J. Favre, J. Ferry, Garnier-Pagès, Emmanuel Arago, Pelletan, Ernest Picard, J. Simon, Magnin, Dorian, Ét. Arago, Gambetta, Crémieux, Glais-Bizoin, général Le Flô, amiral Fourichon, de Kératry,

**Annales de l'Assemblée nationale.** Compte rendu *in extenso* des séances, annexes, rapports, projets de lois, propositions, etc. Prix de chaque volume. 15 fr.
Les dix premiers volumes ont paru.

---

## COLLECTION ELZÉVIRIENNE

**Lettres de Joseph Mazzini** à Daniel Stern (1864-1872), avec une lettre autographiée. 3 fr. 50

**Amour allemand**, par Max Müller, traduit de l'allemand. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

---

## BIBLIOTHÈQUE POPULAIRE

**Napoléon Ier**, par M. Jules Barni, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 1 fr.

**Manuel républicain**, par M. Jules Barni, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 1 fr.

**Les Associations ouvrières en Angleterre** (Trades-Unions), par M. le Comte de Paris. 1 vol. in-18. 1 fr.

**Garibaldi et l'armée des Vosges**, par M. Aug. Marais. 1 vol. in-18. 1 fr. 50

**Le paupérisme parisien**, ses progrès depuis vingt-cinq ans, par E. Fribourg. 1 fr. 25

## ÉTUDES CONTEMPORAINES

**Les Bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V**, par Adolphe Bouillet. 1 vol. in-8. 3 fr. 50

**Les Bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V.** Types nouveaux et inédits, par Adolphe Bouillet. 1 vol. in-18. 2 fr. 50

**L'Espion prussien**, roman anglais par V. Valmont, trsduit par M. J. Dubrisay. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

**La Commune et ses idées à travers l'histoire**, par Edgar Bourloton et Edmond Robert. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

## PUBLICATIONS

## DE L'ÉCOLE LIBRE DES SCIENCES POLITIQUES

ALBERT SOREL. **Le traité de Paris du 20 novembre 1815.** — I. Les cent jours. — II. Les projets de démembrement. — III. La sainte alliance. Les traités du 20 novembre, par M. Albert Sorel, professeur d'histoire diplomatique à l'École libre des sciences politiques. 1 vol. in-8 de 153 pages. 4 fr. 50

**Sous presse pour paraître prochainement :**

H. GAIDOZ. **La race allemande dans l'empire russe,**

USQUIN (Le lieutenant-colonel). **De l'influence du perfectionnement des armes de guerre sur la tactique et la stratégie.**

# RÉCENTES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

AGASSIZ. **De l'espèce et des classifications en zoologie.** 1 vol. in-8. 5 fr.

ARCHIAC (D'). **Leçons sur la faune quaternaire**, professées au Muséum d'histoire naturelle. 1865, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BÉRAUD (B. J.). **Atlas complet d'anatomie chirurgicale topographique**, pouvant servir de complément à tous les ouvrages d'anatomie chirurgicale, composé de 109 planches représentant plus de 200 gravures dessinées d'après nature par M. Bion, et avec texte explicatif. 1865, 1 fort vol. in-4.

Prix : fig. noires, relié. 60 fr.

— fig. coloriées, relié. 120 fr.

Ce bel ouvrage, auquel on a travaillé pendant sept ans, est le plus complet qui ait été publié sur ce sujet. Toutes les pièces disséquées dans l'amphithéâtre des hôpitaux ont été reproduites d'après nature par M. Bion, et ensuite gravées sur acier par les meilleurs artistes. Après l'explication de chaque planche, l'auteur a ajouté les applications à la pathologie chirurgicale, à la médecine opératoire, se rapportant à la région représentée.

BERNARD (Claude). **Leçons sur les propriétés des tissus vivants**, faites à la Sorbonne, rédigées par Emile Alglave, avec 94 fig. dans le texte. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

BLANCHARD. **Les Métamorphoses, les Mœurs et les Instincts des insectes**, par M. Emile Blanchard, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. Prix, broché. 30 fr.

Relié en demi-maroquin. 35 fr.

BLANQUI. **L'éternité par les astres**, hypothèse astronomique, 1872, in-8. 2 fr.

BOCQUILLON. **Manuel d'histoire naturelle médicale.** 1871, 1 vol. in-18, avec 415 fig. dans le texte. 14 fr.

BOUCHARDAT. **Manuel de matière médicale**, de thérapeutique comparée et de pharmacie. 1873, 2 vol. gr. in-18, 5e édit. 15 fr.

BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales.** 1873, 2 vol. in-8. 16 fr.

BUCHNER (Louis). **Science et Nature**, traduit de l'allemand par A. Delondre. 1866, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

CLÉMENCEAU. **De la génération des éléments anatomiques**, précédé d'une Introduction par M. le professeur Robin. 1867, in-8. 5 fr.

**Conférences historiques de la Faculté de médecine** faites pendant l'année 1865 (*les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil.—*Guy de Chauliac*, par M. Follin.—*Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Rioland*, par M. Le Fort. — *Leuret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parot). 1 vol. in-8. 6 fr.

DURAND (de Gros). **Essais de physiologie philosophique.** 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.

DURAND (de Gros). **Ontologie** et psychologie physiologique. Études critiques. 1871, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

DURAND (de Gros). **Origines animales de l'homme**, éclairées par la physiologie et l'anatomie comparative. Grand in-8, 1871, avec fig. 5 fr.

DURAND-FARDEL. **Traité thérapeutique des eaux minérales** de la France, de l'étranger et de leur emploi dans les maladies chroniques. 2e édition, 1 vol. in-8 de 780 p. avec cartes coloriées. 9 fr.

FAIVRE. **De la variabilité de l'espèce.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

FAU. **Anatomie des formes du corps humain**, à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 avec atlas in-folio de 25 planches.
Prix : fig. noires. 20 fr.
— fig. coloriées. 35 fr.

FERMOND. **Essai de phytomorphie**, ou Étude des causes qui déterminent les principales formes végétales. 1864-1869, 2 vol. gr. in-8 de 600 pages environ, avec 30 planches représentant plus de 250 fig. 30 fr.

W. DE FONVIELLE. **L'Astronomie moderne.** 1869, 1 vol. de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

GARNIER. **Dictionnaire annuel des progrès des sciences et institutions médicales**, suite et complément de tous les dictionnaires. 1 vol. in-12 de 600 pages. 7 fr.

GIRAUD-TEULON. **De l'œil**, notions élémentaires sur la fonction de la vue et de ses anomalies. 1 vol. in-18, avec fig. dans le texte. 2 fr.

GRÉHANT. **Manuel de physique médicale.** 1869, 1 volume in-18, avec 469 figures dans le texte. 7 fr.

GRÉHANT. **Tableaux d'analyse chimique** conduisant à la détermination de la base et de l'acide d'un sel inorganique isolé, avec les couleurs caractéristiques des précipités. 1862, in-4, cart. 3 fr. 50

GRIMAUX. **Chimie organique élémentaire**, leçons professées à la Faculté de médecine. 1872, 1 vol. in-18 avec figures. 4 fr. 50

GROVE. **Corrélation des forces physiques**, traduit pai M. l'abbé Moigno, avec des notes par M. Séguin aîné. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

JAMAIN. **Nouveau Traité élémentaire d'anatomie descriptive et de préparations anatomiques.** 3e édition, 1867, 1 vol. grand in-18 de 900 pages, avec 223 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.
Avec figures coloriées. 40 fr.

JANET (Paul). **Le Cerveau et la Pensée.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **Les Problèmes de la vie.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **La Voix, l'Oreille et la Musique.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **L'Optique et les Arts.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LAUGEL. **Les Problèmes de la nature.** 1864, 1 vol. in-18 de la *Biblioth. de philos. contemporaine.* 2 fr. 50

LE FORT. **La chirurgie militaire** et les sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8 avec figures dans le texte. 10 fr.

LEMOINE (Albert). **Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl.** 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEMOINE (Albert). **De la physionomie de la parole.** 1865. 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine,* 2 fr. 50

LETOURNEAU. **Physiologie des passions.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

LEYDIG. **Traité d'histologie comparée de l'homme et des animaux**, traduit de l'allemand par M. le docteur Lahillonne. 1 fort vol. in-8 avec 200 figures dans le texte. 1866. 15 fr.

LONGET. **Traité de physiologie.** 3e édition, 1869.
Tome I. 1 fort vol. gr. in-8. 12 fr.
Tome II. 1 fort vol. gr. in-8 avec fig. 12 fr.
Tome III et dernier. 1 vol. gr. in-8. 12 fr.

LUBBOCK. **L'Homme avant l'histoire**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. Barbier, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867. 1 beau vol. in-8, broché. 15 fr.
Relié en demi-maroquin avec nerfs. 18 fr.

LUBBOCK. **Les origines de la civilisation**, état primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais sur la seconde édition. 1873, 1 vol. in-8 avec figures et planches hors texte. 15 fr.

Relié en demi maroquin. 18 fr.

MAREY. **Du mouvement dans les fonctions de la vie.** 1868, 1 vol. in-8, avec 200 figures dans le texte. 10 fr.

MOLESCHOTT (J.). **La Circulation de la vie**, Lettres sur la physiologie en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduit de l'allemand par M. le docteur Cazelles. 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes**, 4e édition, 1862. 1 vol. gr. in-18. 4 fr. 50

ONIMUS. **De la théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques.** 1866. 3 fr.

ONIMUS et LEGROS. **Traité d'électricité médicale.** 1871. 1 fort vol. in-8 avec de nombreuses figures dans le texte. 12 fr.

QUATREFAGES (de). **Charles Darwin et ses précurseurs français.** Étude sur le transformisme. 1870, 1 vol. in-8. 5 fr.

RICHE. **Manuel de chimie médicale.** 1870, 1 vol. in-18 avec 200 fig. dans le texte. 7 fr.

ROBIN (Ch.). **Journal de l'anatomie et de la physiologie** normales et pathologiques de l'homme et des animaux, dirigé par M. le professeur Ch. Robin (de l'Institut), paraissant tous les deux mois par livraison de 7 feuilles gr. in-8 avec planches.

Prix de l'abonnement, pour la France. 20 fr.

— pour l'étranger. 24 fr.

SAIGEY (Émile). **Les sciences au XVIIIe siècle.** La physique de Voltaire. 1873, 1 vol. in-8. 5 fr.

SAIGEY (Émile). **La Physique moderne.** Essai sur l'unité des phénomènes naturels. 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50

SCHIFF. **Leçons sur la physiologie de la digestion**, faites au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 2 vol. gr. in-8. 20 fr.

TAULE. **Notions sur la nature et les propriétés de la matière organisée.** 1866. 3 fr. 50

VULPIAN. **Leçons de physiologie générale et comparée du système nerveux**, faites au Muséum d'histoire naturelle, recueillies et rédigées par M. Ernest Brémond. 1866, 1 fort vol. in-8. 10 fr.

---

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2





